TN 023
PNC ~~TN~~9520 89-~~001~~

内部資料

パソコンを利用した自動制御実習テキスト

基礎習熟のためのテキスト

技術管理室
No.
'89.8. 3
動燃事業団大洗工学センター

区分変更	
変更後資料番号	~~PNC~~TN9520 89-023
決裁年月日	平成 13年 7月31日

1989年1月

技術資料コード
開示区分 | レポートNo.
I9520 89-001
この資料は 図書室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184　茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

内TN部　資　料
PNC TN9520 89-001 023
１９８９年１月

登録区分
2001.7.31
変更表示

パソコンを利用した自動制御テキスト
基礎習熟のためのテキスト

森本　誠*，大和田敏雄*，
高津戸裕司*，奥出利行**

要　　旨

現在自動制御はあらゆる分野で利用されており、その機能を理解することは、重要である。原子力分野も例外でなく、「常陽」においても様々なシステムを自動制御している。「常陽」には各種制御装置が備えられており、近年、ワンループコントローラの導入も多くなっているが、ワンループコントローラはコンパクトで高性能である反面多機能であるため、その機能を十分発揮させるまで装置を理解することは非常に難しく、従来は外部機関による講習会に頼ってきた。

そこで内部教育によりワンループコントローラを理解するために、パソコンを用いた自動制御実習装置を製作した。本装置はパソコン、ワンループコントローラ、電圧発生器から構成されカスケード制御、フィードフォワード制御までも模擬できるように設計されている。

本テキストでは、本機材の取扱、フィードフォワード制御、カスケード制御及び自動制御装置を取扱う上で最低限必要であるＰＩＤ制御理論について記述している。

本テキスト及び実習教材が活用されることを希望する。

＊実験炉部原子炉第一課
＊＊検査開発㈱

目　　次

Ⅰ　概要 …… 1

Ⅱ　制御動作 …… 1

1.　２位置制御（ＯＮ－ＯＦＦ動作） …… 1

2.　比例動作（Ｐ動作） …… 3

3.　積分動作（Ｉ動作） …… 5

4.　微分動作（Ｄ動作） …… 7

Ⅲ　自動制御装置の条件と調整 …… 9

1.　不安定の原因 …… 9

2.　制御動作と安定性 …… 9

3.　最適調整 …… 10

Ⅳ　最適制御を目指した制御方式 …… 17

1.　可変ゲインと操作出力補正 …… 17

2.　カスケード制御 …… 19

3.　比率制御 …… 20

4.　フィードフォワード制御 …… 21

添付資料（Ｉ）〔実習要領書〕 …… 22

Ⅰ　ＯＮ－ＯＦＦ制御実習 …… 25

Ⅱ　比例＋積分＋微分制御実習 …… 27

Ⅲ　最適調整方法実習 …… 37

Ⅳ　操作出力補正実習 …… 39

Ⅴ　カスケード制御実習 …… 41

Ⅵ　フィードフォワード制御実習 …… 42

添付資料（Ⅱ）〔コントローラ取扱説明書〕 …… 43
1. コントローラ概要説明 …… 44
2. 各制御モード …… 46
(1) ＯＮ－ＯＦＦ制御モード …… 46
(2) ＰＩＤ制御モード …… 47
(3) カスケード制御モード …… 48
(4) フィードフォワード制御モード …… 49

添付資料（Ⅲ）〔パソコンソフトの起動・停止方法〕 …… 59
1. シミュレーションソフトの起動・停止方法 …… 60
2. ＰＶ出力ソフトの起動・停止方法 …… 62

自動制御の基礎

Ⅰ 概　要

本資料は、自動制御の基礎を学習するために、色々な制御装置の基本動作をまとめたものである。また、制御動作を簡単に理解できるようにパソコンと調節計を組合せた実習装置を準備し、その実習要領書を添付した。

Ⅱ 制御動作

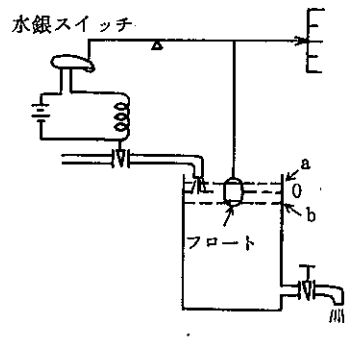
自動制御装置の制御動作とは、制御量が目標値からはずれた時、動作信号に対して制御装置がどのような応答をするかを示すもので、普通、次に示すような動作がよく用いられる。

1. 2位置動作（ＯＮ－ＯＦＦ動作）

2位置動作は、偏差の正負によって、操作量をＯＮあるいはＯＦＦとする動作であって、制御動作中最も簡単な動作である。

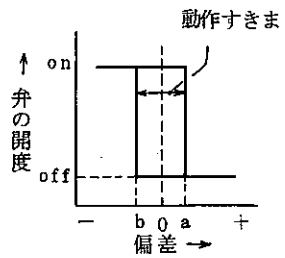
照明の自動制御は、スイッチが閉じているか開いているか（すなわち、ＯＮかＯＦＦか）の2つの状態しかとれないので、明らかに2位置動作である。また、バイメタルを用いたサーモスタットも2位置制御である。ここでは図Ⅱ－1.1のような水位の自動制御を例にとって説明する。

いま、水位が図の位置0にある時を目標値であるとし、水位が下がってｂまでくると、フロートも下がって、水銀スイッチの右端は逆に上がり、水銀が電源回路を閉じるので、電磁石は鉄片を吸収して、弁を開くようになっているとする。水位が上昇してａに達すると、フロートも上がるので水銀スイッチの右端は下がり、水銀スイッチは開いて弁は閉じる。

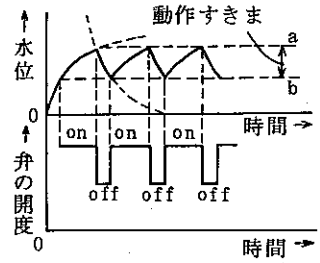


図Ⅱ－1.1
2位置動作（オンオフ動作）の例

このような、偏差と弁の開閉の関係は、図Ⅱ－1.2のようにヒステリシスループを描く。このａ，ｂの間隔を動作すきまという。



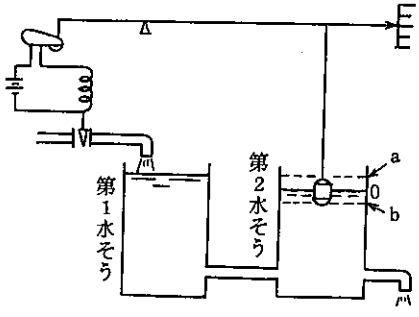
図Ⅱ－1.2
2位置動作の動作すきま



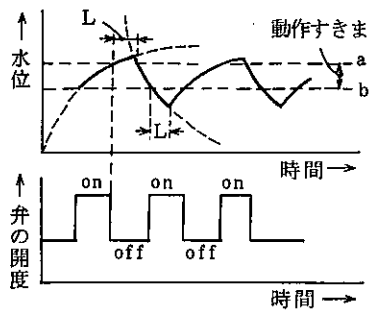
図Ⅱ－1.3
動作すきまのある2位置動作

この水位系は、一次遅れの特性を持っているとすると、水位は図Ⅱ－1.3のように動作すきまに等しい振幅を持って振動する。これをサイクリングという。

図Ⅱ－1.4のように、水槽を2個直列に接続した2容量要素は、二次遅れ要素で、一つのむだ時間Lと、時定数Tとを持った一つの一次遅れとの結合で近似される。水位がaに達すると水銀スイッチが開いて弁が閉じるのは、単容量要素の場合と同様であるが、弁が閉じた影響は、直ちには第2水槽には現れないで、時間Lだけ遅れる。すなわち、図Ⅱ－1.5のように、第2水槽の水位は第1水槽からの流量によって、時間Lの間上昇を続ける。水位の下降の場合も同様であるが、上昇の時定数より下降の時の方が小さいとすると、図からわかるように、むだ時間Lによる振幅の増加はより大きくなる。このことから、時定数の大きい（変化の遅い）要素ほどサイクリングの振幅は小さく、また、当然周期も大きくなるので、制御装置のためには良い。2位置動作は最も簡単で、かつ、経済的であるため、プロセス制御の大部分において用いられているが、制御対象（プロセス）が2次以上の遅れ要素で、かつ、時定数の小さい場合には、サイクリングがひどくなるので、以下に学ぶ動作が用いられる。



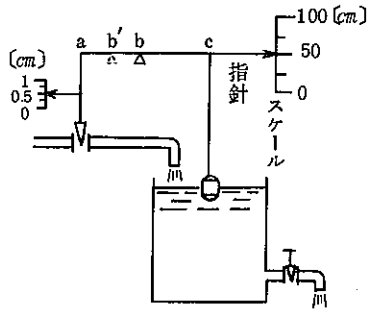
図Ⅱ－1.4
二次遅れ要素の2位置動作



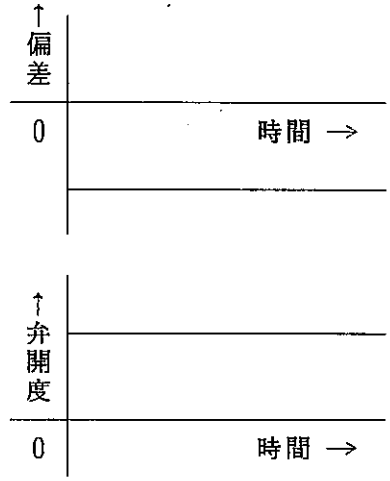
図Ⅱ－1.5
動作すきまとむだ時間のある2位置動作

2. 比例動作（Ｐ動作）

断面積の小さい水槽では、水位の変化が早い（時定数が小さい）ので、前項で学んだＯＮ－ＯＦＦ動作ではサイクリングがひどくなる。このような場合には、図Ⅱ－2.1のように水位の偏差に比例して弁の開度が変化するような制御動作を行ったほうがよい。このように、偏差に比例して操作部を動かす制御動作を比例動作という。この場合の偏差に対する弁開度の関係を図Ⅱ－2.2に示した。



図Ⅱ－2.1　比例動作（Ｐ動作）の例



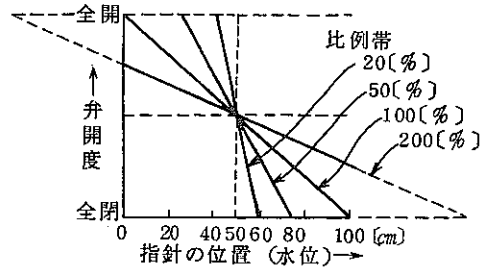
図Ⅱ－2.2　比例動作

偏差＝制御量－目標値であるから、図のように偏差が負ということは、水位が目標値よりも下がっているということである。したがって、弁の開度は増すのである。弁の開度が50％のとき、水位が目標値の50cmを保っているとする。いま、てこの支点bが、図Ⅱ－2.1においてab:bc=1:10の位置にあったとし、水位が1cm下がったとすると、弁の開度は0.1cm増す。また、水位が5cm下がったとすると、弁の開度は0.5cm増すから、全体の開度は1cmとなり、全開となる。したがって、それ以上水位が下がっても、水の流入量は増さない。逆に、水位が5cm増すと弁は全閉となる。すなわち、水位が55cmで弁は全閉となり、45cmで全開となる。スケールの目盛は、図のように0～100cmであっても、弁の全開、全閉に対応する指針の範囲は45～55cmの間の10cmに過ぎない。弁の全閉、全開に対応する指針の範囲がこのように狭いと、訂正動作は速くなり、また制御の精度も上がるが、ＯＮ－ＯＦＦ動作に近くなるため、プロセスの容量が小さい（時定数が小さい）場合は、サイクリングを起こすこともある。このような場合には、弁の全閉、全開に対応する指針の範囲をもっと広くとらなければならない。そのためには、図のてこの支点をb′に移し、例えばab′:b′c=1:20とすればよい。この場合は、水位が60cmになると弁は全閉、40cmになると全開となるので、指針は、

弁の全開、全閉に対応してスケールの40～60cmの20cmの間を動くことになり、訂正動作は緩慢となる。

このようなことを明確にするために、比例帯という言葉を使う。比例帯とは、弁が全開から全閉になるまでに指針が動く目盛範囲を、スケール全目盛に対する百分比で表したものである。たとえば、今の例で、てこの支点がbにあった場合は、比例帯が10/100×100=10％であり、b'に移した場合は、20/100×100=20％であるという。

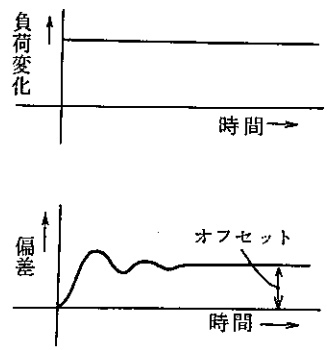
種々の比例帯の関係を図Ⅱ－2.3に示した。この図から、比例帯0％の比例動作は動作すきまのないＯＮ－ＯＦＦ制御にほかならないことがわかる。



図Ⅱ－2.3　種々の比例帯

通常、比例帯は、調節計内のダイヤルで調整できるようになっている。ところで今、流出量を増す必要があって、水槽の出口の弁の開度を増したとする。当然、水位は下がり、弁の開度は増す。弁の開度が0.1cm増したときに流入量と流出量とが等しくなったとし、比例帯が20％（てこの支点がb'にある場合）であるとすると水位は2cm下がり、48cmのところで平衡に達する。つまり2cmの偏差が残る。この場合は流出量の変化は、負荷変化と呼ばれ、外乱の一種であるが、比例動作の欠点は持続的な外乱が加わった場合や持続的な目標値の変化があった場合、制御動作が終わって平衡状態に達した後にも偏差が残ることである。このような偏差をオフセット（残留偏差）と呼ぶ。

インディシャル応答に対するオフセットをⅡ－2.4に示す。



図Ⅱ－2.4
負荷変化に対する比例動作

オフセットを減らすには、比例帯を狭くすればよい。例えば、てこの支点をbに移して、比例帯を10%とすると、弁の開度を前と同じに0.1cm増すためには、水位は1cm下がるだけでよい。すなわち、オフセットは1cm減少する。このようにオフセットは比例帯を狭くすることによって減少することができるが、比例帯を狭くすることは、比例動作をＯＮ－ＯＦＦ動作に近づけることで、あまり狭くするとサイクリングを起こすので限度がある。このた

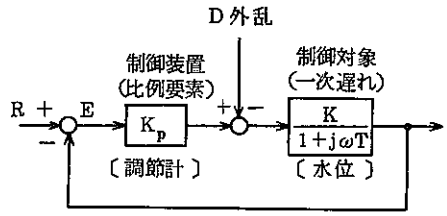
め、通常、調節計には手動リセットというものが設けられていて、比例帯は変えないで、弁の開度を手動で変えることによって、オフセットをなくすことができるようになっている。

次にオフセット（したがって、精度）と安定度との関係を定量的に考察してみよう。ここで考えている例は、定値制御であるから、主として外乱に対するオフセットが問題となる。外乱を考慮に入れて図Ⅱ－2.1のブロック線図を描くと、図Ⅱ－2.5のようになる。すなわち、図Ⅱ－2.1のような水槽の水位を比例動作で制御するということは一次遅れ要素を比例要素で制御するということである。比例動作で行う制御を比例制御という。この場合のK_Pは、調節計の比例感度、又は、比例ゲインと呼ばれ、次式で表される。

$$K_P = \frac{100}{PB}$$ ここに、ＰＢは比例帯である。

例えば、比例帯が20％であると次のようになる。

$$K_P = \frac{100}{20} = 5$$



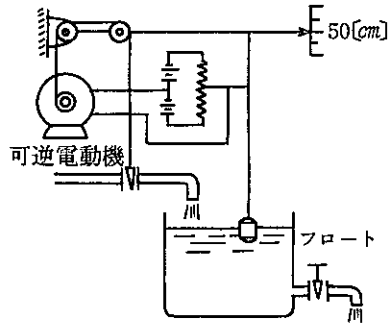
図Ⅱ－2.5
水位の比例制御系のブロック線図

比例帯を狭くするとゲインが増し、オフセットを小さくすることができるが、あまり比例帯を狭くしすぎると不安定になってハンチングを起こすようになる。ハンチングを起こす限界となる比例感度を限界感度という。

比例動作では、サイクリングを除くことができたが、オフセットが生じるという欠点がある。このため、負荷の変化が小さい場合、又は、ある程度のオフセットが許せる場合には比例動作が用いられるが、それ以外の場合は次に記す積分動作によって自動的にオフセットを消してやらなければならない。

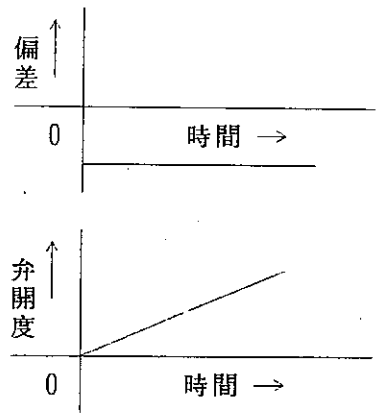
3. 積分動作（Ｉ動作）

水槽の例で積分動作を行うには、図Ⅱ－3.1のようにするのが一つの方法である。水位が目標値の50cmにあるときに、すり接触が、すべり抵抗器の中央にあるようにすると、可逆電動機には電圧が加わらず、したがって回転しない。水位が１cm下がったとすると、すり接触もほぼ同じだけ下方に動くので、電動機には電圧が加わり、ひもで連結された弁を開くように回転す



図Ⅱ－3.1
積分動作（Ｉ動作）の例

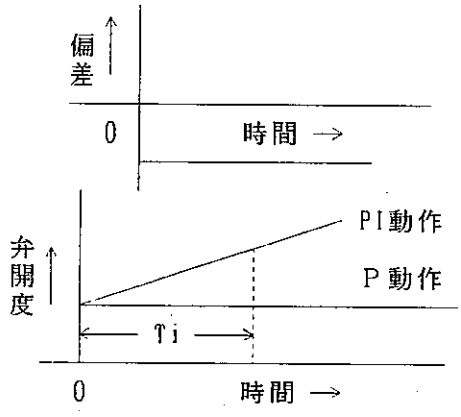
る。水位が2㎝下がると、すり接触も前の2倍だけ下がるので、電動機には2倍の電圧がかかり、したがって回転速度は2倍になる。このことから、積分動作では、操作部は偏差に比例した速度で動く。これを図示すると図Ⅱ－3.2となる。この図で、弁開度は時間に対して直線的に増加しているが、これは偏差曲線と時間軸とで囲まれた面積（時間とともに増す）、すなわち偏差の時間に関する積分値に比例していることを表している。このために積分動作（Ｉ）と呼ばれる。



図Ⅱ－3.2　積分動作

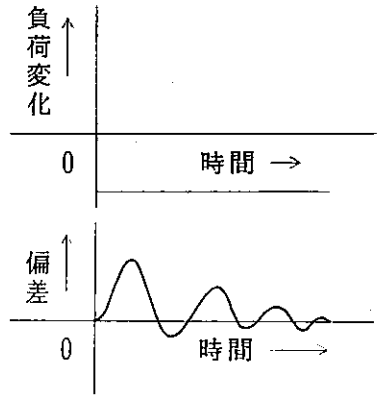
積分動作は、単独でも使われるが、比例動作と組み合わせた比例＋積分動作（ＰＩ動作）は、制御動作中最も多く使われるものである。実際、図Ⅱ－3.1の例でもフロートが動くと弁が比例して動く比例動作も共存するのでＰＩ動作である。その動作は、図Ⅱ－3.3に示してある。

Ｔｉは積分時間と呼ばれＩ動作だけでＰ動作と同じ弁開度を得るのに要する時間である。積分時間が短いほど積分動作は強い。また、積分時間の逆数１／Ｔｉ（毎分何回）をリセット率といい、アメリカではこの方がよく使われる。例えばＴｉ＝0.5分の場合にはリセット率は2回／分となるが、これは、比例動作による弁開度にさらにそれと同量の弁開度が1分間に2回繰り返して加算されるということを意味している。



図Ⅱ－3.3
比例＋積分動作（PI動作）

積分動作では、負荷変化があって流出量が増しても、水位が目標値からずれている限りは電動機に電圧が加わるので、偏差は打ち消され、オフセットは残らない。この様子を図Ⅱ－3.4に示した。このように、ＰＩ動作としてのＰ動作のオフセットを消すように使われた場合には、Ｉ動作はリセット動作と呼ばれることもある。

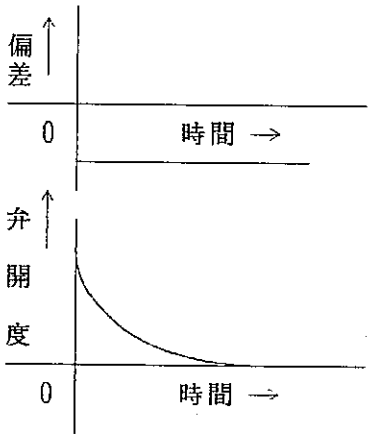


図Ⅱ－3.4
負荷変化による比例＋積分動作

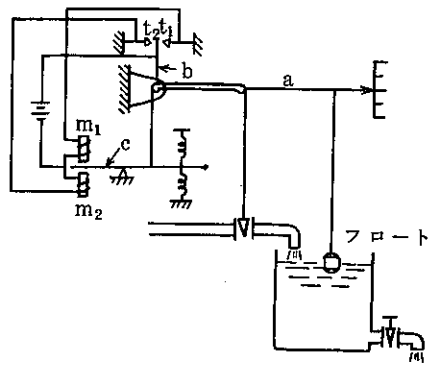
制御対象に大きなむだ時間（２分以上）があるときは、ＰＩ動作を使うと振動周期が長くなり、応答が遅くなるので適当ではない。この場合には、さらに、次に述べる微分動作を併用する必要がある。

4. 微分動作（Ｄ動作）

微分動作では、図Ⅱ－4.1のように、偏差の微分値に比例して操作部を動かすので、偏差の起こり始めに大きな訂正動作をして、偏差が大きくなることを未然に防ぐ動作である。



図Ⅱ－4.1　微分動作

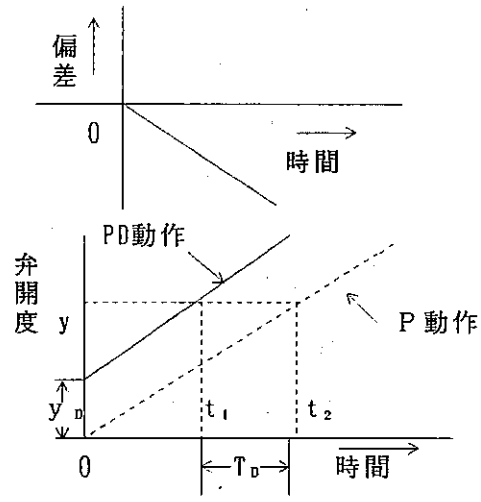


図Ⅱ－4.2
微分動作（Ｄ動作）の例

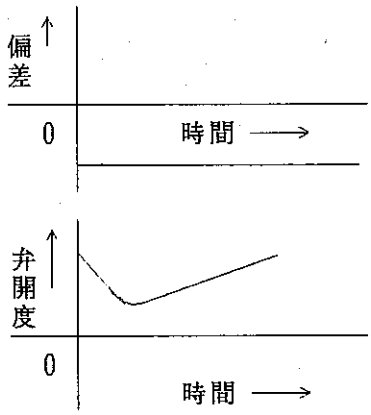
水槽の例で微分動作を行う一例を図Ⅱ－4.2に示した。いま、水位が階段状に下がったとすると、フロートとともに腕ａも下がり、これと摩擦結合している腕ｂは右に傾いて接点t_1を閉じる。したがって、電磁石m_1に電流が流れて腕ｃを吸引する。このため、腕ｃの右端は下がって、これにひもで連結されている弁は上方に開かれる。逆に、水位が階段状に上がると、接点t_2が閉じて弁は下方に動く。しかし、微分動作は、単独で使われることはほとんどなく、比例＋微分動作（ＰＤ動作）か、又は、比例＋積分＋微分動作（ＰＩＤ動作）として使われる。

いま、図Ⅱ－4.3のように、偏差を一定速度で増した場合、比例動作（Ｐ動作）だけの場合は弁開度は破線のように一定速度で増加するが、これに微分動作（Ｄ動作）が加わると、一定速度で変化する入力の微分は一定値であるから、そのための弁開度

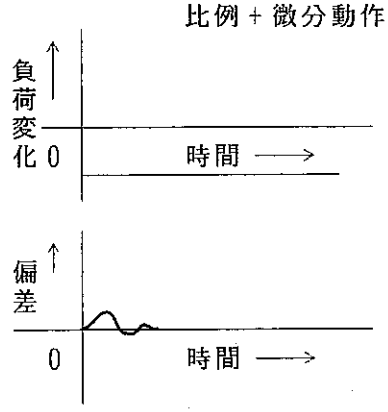
y_Dが加わるために、実線のように変化する。同じ弁開度yに達する時間はＰＤ動作ではt_1であるが、Ｐ動作だけではt_2で、ＰＤ動作のときの方がＰ動作だけのときより時間T_Dだけ早い。この時間T_Dを微分時間という。微分動作は、このように調節計の応答を進める作用がある。微分時間は、通常、数秒から10～20分位までできるようになっている。



図Ⅱ－4.3
比例＋微分動作（ＰＤ動作）



図Ⅱ－4.4
比例＋積分＋微分動作



図Ⅱ－4.5　負荷変化に対する
比例＋積分＋微分動作

ＰＩＤ動作の例を図Ⅱ－4.4に示した。また、負荷変化に対するＰＩＤ動作の結果は、図Ⅱ－4.5のようになって、きわめて良好である。ＰＩＤ動作は、比例＋積分＋微分動作という三つの項の和であることから、３項動作と呼ばれることもある。

Ⅲ　自動制御装置の条件と調整

自動制御装置の一般的条件は、定常時の偏差を小さくできること、系統を安定に制御できること及び偏差に対する応答性が良いこと等である。これらの条件のうち、どの条件を最優先させるかは、そのプラントの特性によって決めるものである。

実プラントにおいて、制御装置を構成させたとき、微小な外乱で系統が不安定になったり、逆に外乱によって偏差が生じても設定値に回復するまでの時間遅れが大きくては、目的を達成することができない。従って自動制御装置は、これらを考慮して設計し、据付後に制御パラメータの最適調整を行い、プラント特性条件に適合した最適値が決定される。

1.　不安定の原因

実際のプラント制御においてしばしば系が不安定になることがある。この場合、制御装置だけを調整し、安定化させるばかりではなく、不安定の原因を調査し、その根源を除去することが特に必要である。不安定の要因には次のものがある。

(a)　他の制御装置との干渉。

(b)　外乱が周期的に起こるための強制振動及び外乱の入力点の影響。

(c)　制御系内にある摩擦、不動帯などの非線形要素。

(d)　制御系のパラメータの外乱、設定値、時間などによる変化。

(e)　上記の諸原因がなく、単にループゲインが高いだけが原因であるとき。

(f)　制御系内に遅れ要素、むだ時間が存在するとき。

2.　制御動作と安定性

(1)　比例動作の効果

調節器をプロセスに取付け、比例帯のみを狭くし、ゲインを上げた場合には次のような特徴がある。

(a)　オフセットが減少する。

(b)　行過ぎ量が減少する。

(c)　応答曲線の振幅減衰率が小となり安定性が悪くなる。

(d)　応答曲線の周期が短くなる。

比例帯を狭くすることは安定性が悪くなること以外は望ましいことであるから不

安定にならない限度で、できるだけ狭いことが望ましい。

(2) 積分動作の効果

他の条件を一定に保ち、積分時間のみを短くして行くと次の特徴がある。

(a) 設定値への回復速度を早める（応答性が速くなる）。

(b) 振幅減衰率が小となり安定が悪くなる。

(c) オフセットをなくす。

(3) 微分動作の効果

微分時間のみを増大させると次のような効果がある。

(a) 振幅減衰率を増し安定性を良くする。

(b) 周期を短くする。

すなわち、微分時間を増した方が安定性はよい。ただし、微分動作を付加することによって高周波領域におけるゲインが増大し、ノイズを拡大したり、また純粋なむだ時間（検出遅れ、動作遅れ等）に対してはあまり効果が期待できないことがある。

また、実際の調節計で純粋な微分時間を得ることが困難であったり、非線形要素の影響が入ったりして微分動作が必ずしも安定化に役立たないことがあるので、注意する。

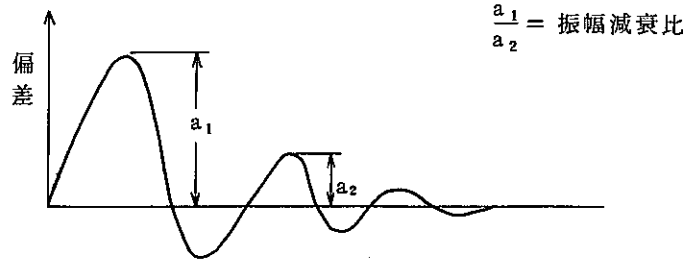
3. 最適調整

(1) 最適調整法概念

具体的な最適調整の基準となるものについては、今まで数多く研究・発表されているが実用的にみて比較的容易に現場で行える基準について述べる。

(a) 振幅減衰率比を基準とする方法

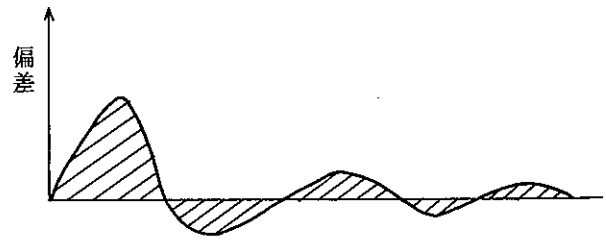
図Ⅲ－3.1に示すように階段状外乱に対する過渡応答に着目し、振幅減衰率比が例えば4：1またはe：1を最適な応答となす方法。（e＝2.718 …）



図Ⅲ－3.1

(b) 過渡応答の制御面積を最小にする法

図Ⅲ－3.2に示す斜線の部分の面積を最小にする法



図Ⅲ－3.2

(c) 行過ぎ量を規定する方法

(d) 周波数応答をとり位相余有、ゲイン余有を指定する方法

(e) 減衰振動に対する周波数応答線図より振幅減衰率を指定し、最適の調整値を求める方法

(2) 最適調整方法

(a) ジーグラ・ニコルス(Zieger-Nichols)の限界感度法

この方法は制御回路の過渡応答において、25%ダンピングの状態を最適であるとする思想に基づくものである。

調節器をまず比例動作のみで制御を行わせる。比例帯を少しずつ狭くしゲインを上げ、遂にサイクリングを始める限界での比例感度をK_cとし、そのときの持続振動周期をT_cとする。これを次表（表Ⅲ－3.1）に当てはめる方法であって実際現場の調整に適する。

表Ⅲ－3.1　ジーグラ・ニコルスの限界感度法

制　御　動　作	K_P	T_I	T_D
P　制　御	$0.5K_c$	――――	――――
PI　制　御	$0.45K_c$	$0.83T_c$	――――
PID　制　御	$0.6K_c$	$0.5T_c$	$0.125T_c$
PD　制　御	$0.55K_c$	――――	$0.1T_c$

K_P ：最適比例感度
T_I ：最適積分時間
T_D ：最適微分時間

(b)　ジーグラ・ニコルスの制御面積最小法

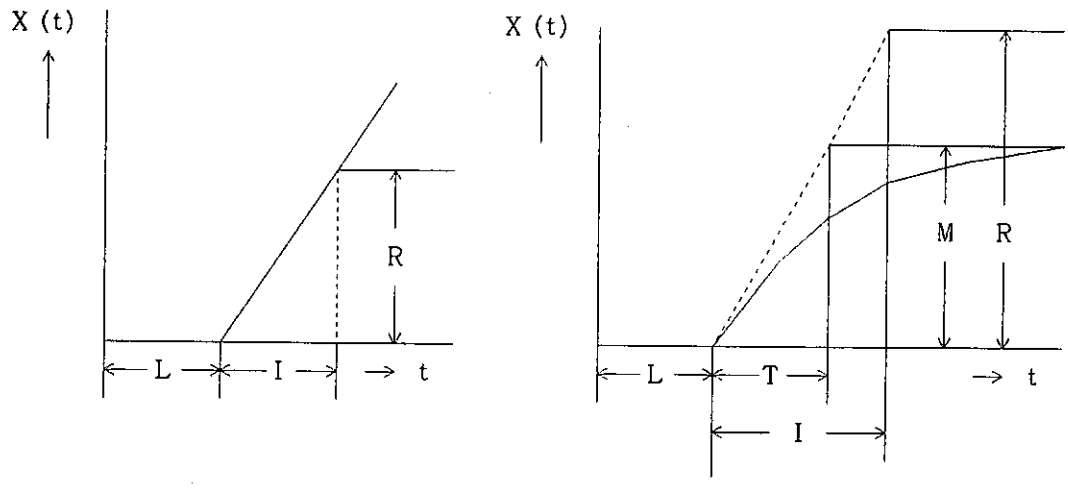
制御装置の代表的な伝達関係を次のものとする。

$$P\ 動作 : G_1(S) = K_P$$

$$PI\ 動作 : G_1(S) = K_P\left(\frac{1}{T_{IS}} + 1\right)$$

$$PID\ 動作 : G_1(S) = K_P\left(\frac{1}{T_{IS}} + 1 + T_{DS}\right)$$

プロセスの代表的な伝達関数を図Ⅲ－3.3(a)、(b)に示す。



(a)ムダ時間＋直線形　　(b)ムダ時間＋単容量形

図Ⅲ－3.3　プロセス特性

$$G_2(S) = R\ \frac{e^{-LS}}{S}$$ (a)の場合

R：プロセス反応度　　L：ムダ時間

$$G_2(S) = R\ \frac{e^{-LS}}{\frac{R}{M} + S}$$ (b)の場合

M：プロセス感度（単位ステップに対する）$\frac{R}{M} = \frac{1}{T}$ なる故に

$$G_2(S) = RT\ \frac{e^{-LS}}{1 + TS}$$

以上に対する最適調整を次表に示す。

表Ⅲ－3.2　ジーグラ・ニコルスの制御面積最小法

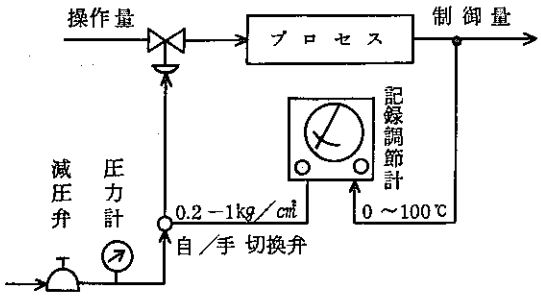
制御動作	K_P	T_I	T_D	制御量の振動周期
P制御	$\frac{1}{RL}$	――	――	5L
PI制御	$\frac{0.9}{RL}$	3.3L	――	6L
PID制御	$\frac{1.2}{RL}$	2L	0.5L	3.2L

(c) ジーグラ・ニコルスの過渡応答法

過渡応答法の具体例

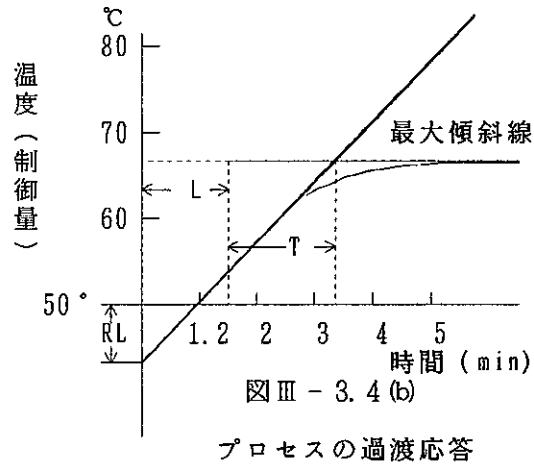
図Ⅲ－3.4(a)に示すように調節器から調節弁に行く途中で制御回路を切り、調節弁に供給している空気圧を変化させ、記録計にその応答を画かせる。記録調節計がついているときは、手動操作器を用いて容易にこの過渡応答を取ることができる。

その結果図Ⅲ－3.4(b)に示す応答が得られたとする。この場合できるだけ線形の範囲内で応答が行われるように、最初の入力も小さくとり、また設定値・負荷などを種々に変えた各種の条件下で行うことが望ましい。また応答が終了しないうちに外乱が入ってくると、結果が正確に求まらないので、できるだけ外乱の少ないときに実施することが必要である。



図Ⅲ－3.4(a)

過渡応答の測定法　去



図Ⅲ－3.4(b)

プロセスの過渡応答

図Ⅲ－3.4(b)のインディシャル応答は、むだ時間L(min)、反応速度R％/minで近似する。

Rは近似応答の最大傾斜を表すもので、単位時間の制御量変化を百分率で表したものである。これは温度制御の例で、記録調節計の目盛は0～100 ℃、いま調節弁に供給する空気圧が0.6kg/cm²でちょうど50℃にバランスしていたとする。調節計を手動にし、調節弁の供給空気圧を0.75kg／cm²すなわち0.15kg／cm²だけ変化させたときの応答を記録計は示しているものとする。

この例の場合Ｒ，Ｌは次式で求まる。

$$L = 1.2\text{min}$$

$$R = \frac{14℃（温度変化量／\text{min}）}{100℃（フルスケール）} \times 100 = 14\%／\text{min}$$

$$RL = 1.2 \times 14 = 16.8\%$$

ＲＬの値はＲとＬを別々に求めなくとも図Ⅲ－3.4(b)で最大傾斜線が縦軸を切る点と原点との距離に相当する。

各調整値の最適条件は、表Ⅲ－3.3で与えられる。

表Ⅲ－3.3ジーグラ・ニコルスの過渡応答法

制御動作	ＰＢ	T_I	T_D	減衰振動周期
Ｐ制御	$100\frac{RL}{\Delta P}$	――	――	5Ｌ
ＰＩ制御	$111\frac{RL}{\Delta P}$	3.3Ｌ	――	6Ｌ
ＰＩＤ制御	$83\frac{RL}{\Delta P}$	2Ｌ	0.5Ｌ	3.2Ｌ

表の中の△Ｐは変化させた調節計出力空気圧を百分率で表したもの。

$$\Delta P = \frac{0.75 - 0.6}{1.0 - 0.2} = \frac{0.15}{0.8} = 18.8\%$$

ＰＩＤ制御の最適調整値は次のようになる。

$$\text{比例帯} = 83 \cdot \frac{RL}{\Delta P} = 83 \cdot \frac{14 \times 1.2}{18.8} = 74\%$$

$$\text{積分時間} = 2L = 2 \times 1.2 = 2.4\text{min}$$

$$\text{微分時間} = 0.5L = 0.5 \times 1.2 = 0.6\text{min}$$

(d) 一巡伝達関数ゲイン余有と位相余有より求める方法

これは一巡伝達関数のボード線図から求める方法である。

すなわち、特性式が零に等しいときが安定限界であるから、その時の一巡伝達関数が図上においてどれだけ安定側によっているかを調べ、また適当な余有を持たせるように調整する方法である。

図Ⅲ－3.5は調整しようとする制御回路の一巡伝達関数のボード線図である。一巡伝達関数の特性方程式は、

$$1 + G(S) = 0$$

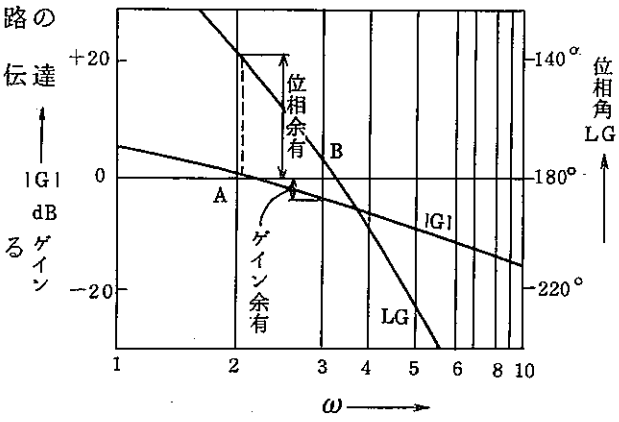
回路の一巡伝達関数が－1に等しくなる場合が安定限界である。

$$G(S) = -1$$

$$|G(S)| = 1$$

$$LG(S) = -\tan^{-1}0 = -180^\circ$$

$$G(j\omega) = -1 = 1 < -180^\circ$$



図Ⅲ－3.5　一巡伝達関数のボード線図

これよりも安定側によっている度合を表すのに次の表現を用いる。すなわち、ゲインが0 dBとなる周波数における位相角が－180°のところから＋側に上まわる角度を位相余有といい、また位相角がちょうど－180°になる周波数におけるゲインが0 dBから－側による量をゲイン余有という。

図Ⅲ－3.5において、A→Bに一致するようにゲインを高めてやると（ある値の定数を伝達関数にかけてやる）丁度回路は、安定限界点に達する。この高めてやることのできるゲインの増分がゲイン余有である。

Ⅳ　最適制御を目指した制御方式

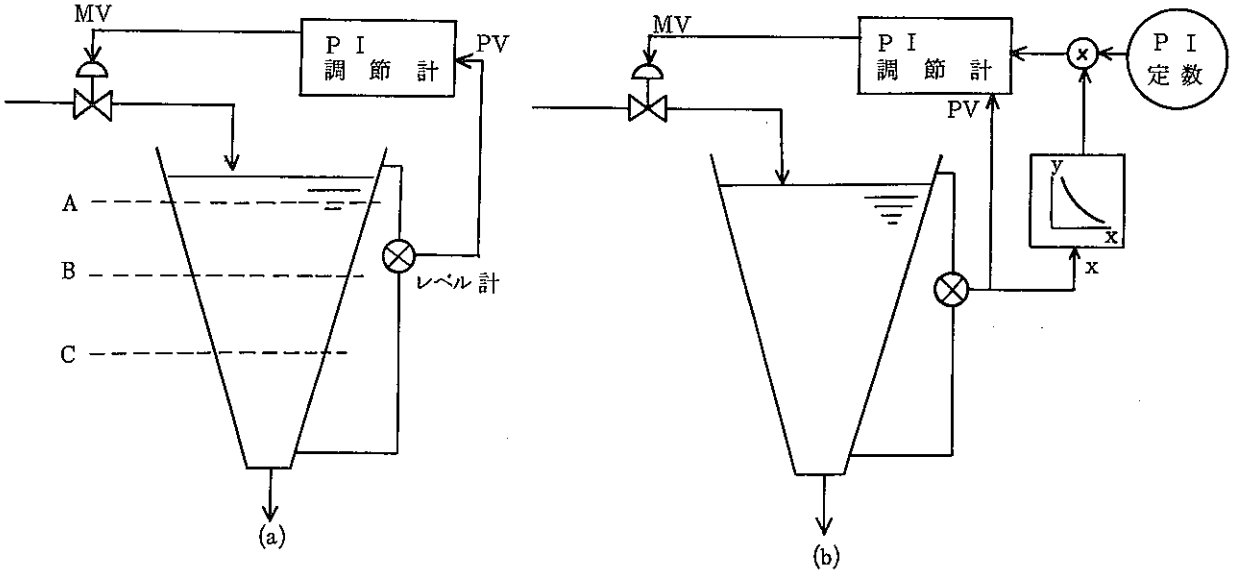
1.　可変ゲインと操作出力補正

(1)　可変ゲイン

図Ⅳ－1.1 (a)にレベル制御例を示すがこれは一般的なフィードバック制御である。この例では、容器が逆円すいの形をしているため、レベルA、B、Cの位置で定値制御を行うとした場合、各々のレベルによって調節計の最適ゲインは異なってくる。つまり、レベルA又はレベルBの位置で定値制御を行う場合、レベルBの方が流入出量に対するレベル変化が大きくなり、調節計のゲインを下げた方が制御性が良くなる。

これはレベルBとCにおいても同様である。このような場合に、可変ゲイン制御を持ちいると、どのレベル位置においても最適なゲインで制御を行わせることが可能である。図Ⅳ－1.1 (b)は可変ゲイン制御の例である。

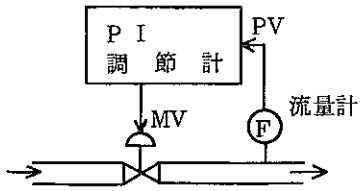
この制御系ではレベルが高くなるにつれて連続的にゲインを上げるようにしている。これによりどのレベルでも良好な制御性が得られることになる。



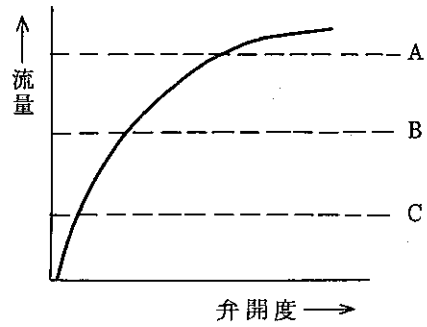
図Ⅳ－1.1　可変ゲイン制御

⑵ 操作出力補正

図Ⅳ－1.2に流量制御の例を示す。



図Ⅳ－1.2 流量制御例

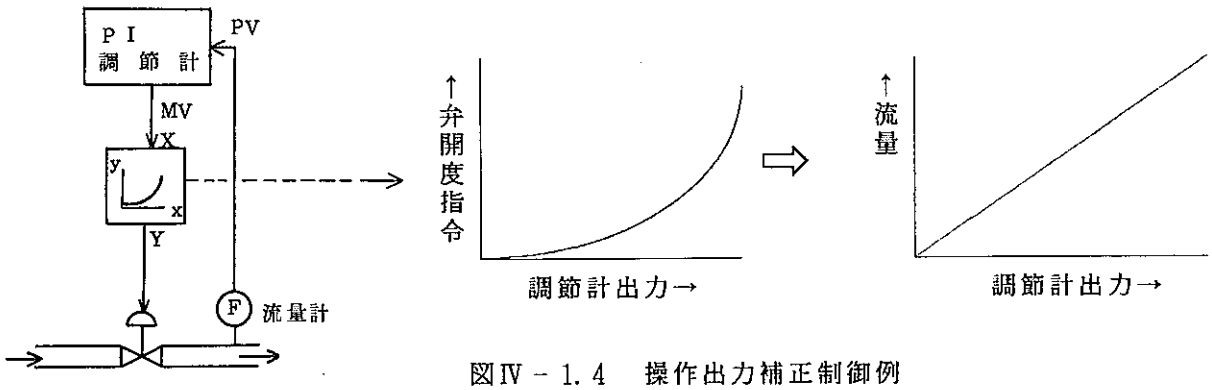


図Ⅳ－1.3弁開度特性

この制御系において、制御弁の開度と流量の関係が図Ⅳ－1.3の様に非線形である場合、流量A、B、Cの位置で定値制御を行うとすると、各流量によって調節計の最適ゲインは異なってくる。

これは、各流量制御時において調節計の操作出力変化量に対する流量変化量が異なるためである。つまり、流量が多い場合は、調節計の出力変化に対する流量変化量が少なくなり、逆に低流量時には流量変化量が多くなる。

この場合、図Ⅳ－1.4に示すように調節計の操作出力と流量が直線関係となるように、調節計出力を補正すればどの流量値においてもゲインを変更することなく最適な制御が可能となる。



図Ⅳ－1.4 操作出力補正制御例

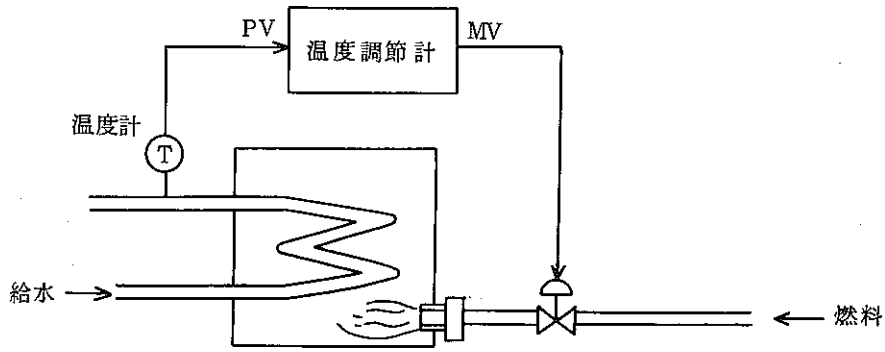
※可変ゲインと操作出力補正は補正する位置が異なるだけで、操作出力を補正するという点では全く同じと考えてよい。

2. カスケード制御

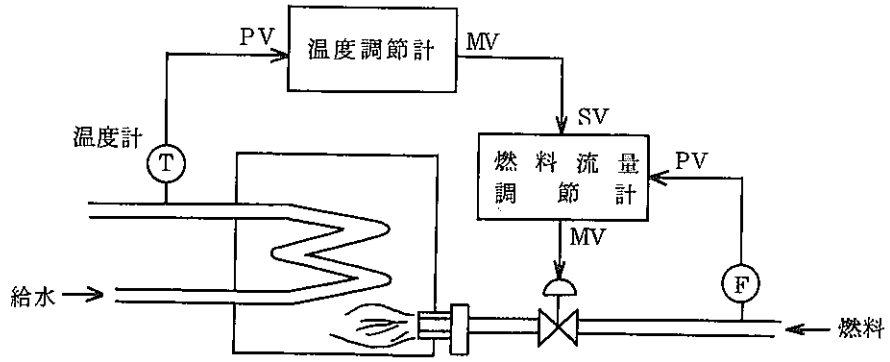
図Ⅳ－2.1及び図Ⅳ－2.2に2種類の温度制御例を示す。

どちらも温水器の出口温度を一定に保つため、燃料流量調節弁を操作する制御系であるが、図Ⅳ－2.1では温水器の出口温度を検出し、直接燃料調節弁を操作する方式である。これに対し図Ⅳ－2.2は、温度調節計と燃料流量調節計とを2段に接続し、温度調節計で燃料流量の設定値を演算し、その設定値を用いて燃料流量調節計で調節弁を操作する方式であり、カスケード制御と呼ばれている。

この2種類の制御性を比較すると温度外乱（例、給水流量変動）が生じた場合、どちらも変わらない制御性を示すが燃料流量外乱（例、燃料供給圧力変動）が生じた場合、前者の制御系では燃料流量変化により、温水器の出口温度が変化しはじめて燃料流量調節弁が操作されることになるのに対し、後者では燃料流量が変動した時点で、流量のフィードバックがかかり燃料調節弁が操作されるため、温度変動を小さくすることができる。



図Ⅳ－2.1　温度制御例

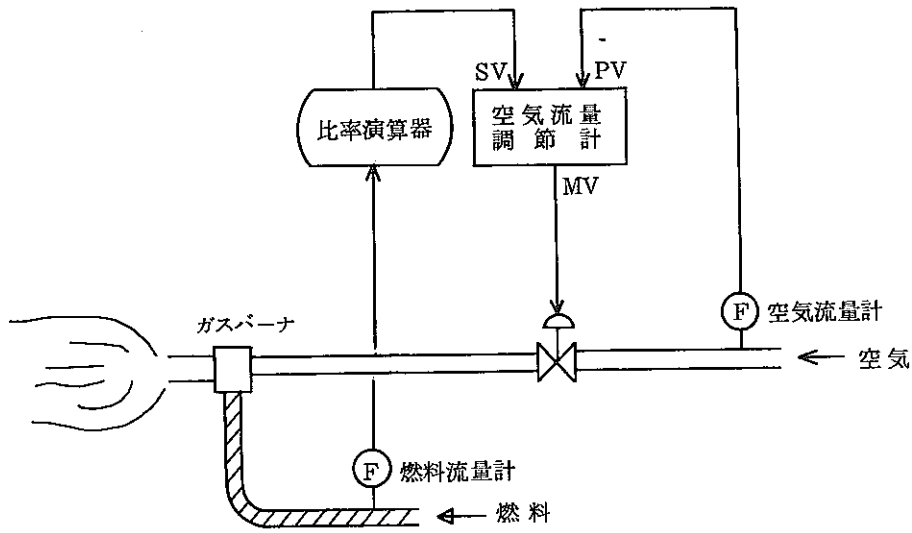


図Ⅳ－2.2　カスケード制御により温度制御

3. 比率制御

図Ⅳ－3.1にガスバーナの空気流量制御例を示す。

この制御系は、検出した燃料流量に対し、空気流量を比率演算器で演算し、空気流量調節計の設定値として空気流量制御を行う。このように、あるプロセス値に対し比率演算をほどこした値を調節計の設定値として使用する方式を比率制御と呼ぶ。



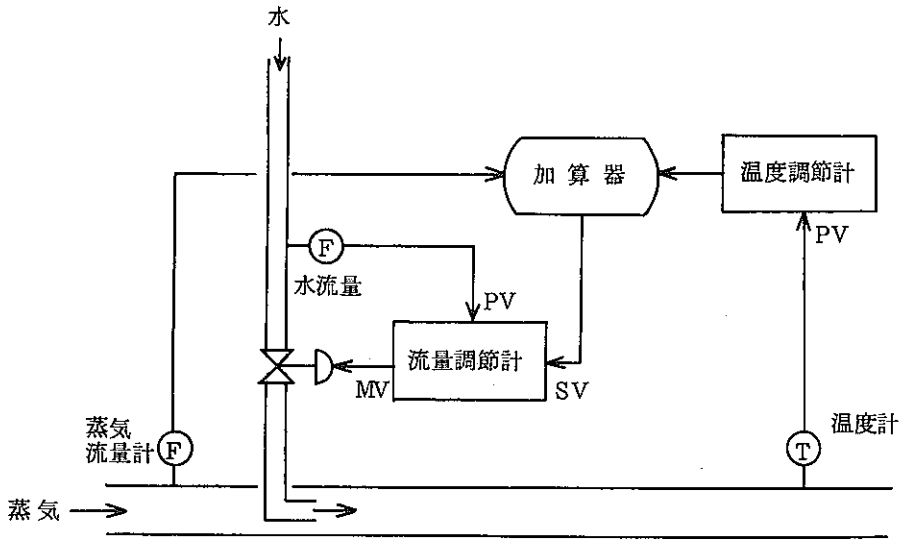
図Ⅳ－3.1　比率制御（空気の量を燃料の量に比例して制御する）

4. フィードフォワード制御

図Ⅳ－4.1に過熱蒸気の温度制御例を示す。

この制御系は、過熱蒸気に水をスプレーして温度制御を行うものである。蒸気の流量から必要な水量を予測し、この値と温度調節計からの出力値とを加算して水量の制御を行う。

このような制御をフィードフォワード制御と呼ぶ。一般のフィードバック制御では、偏差が現れてはじめて修正動作を行うのに対し、フィードフォワード制御では変動要因（ここでは蒸気流量変化）を検出し、偏差（温度変化）が現れる前に未然に修正動作を行う。（ただし、必ずフィードバック制御を併用する。）



図Ⅳ－4.1　フィードフォワード制御

添付資料（Ⅰ）

実習要領書

Ⅰ　ＯＮ－ＯＦＦ制御実習

Ⅱ　比例＋積分＋微分制御実習

- 比例制御
- 比例＋積分制御
- 比例＋微分制御
- 比例＋積分＋微分制御

Ⅲ　最適調整法実習

Ⅳ　操作出力補正実習

Ⅴ　カスケード制御実習

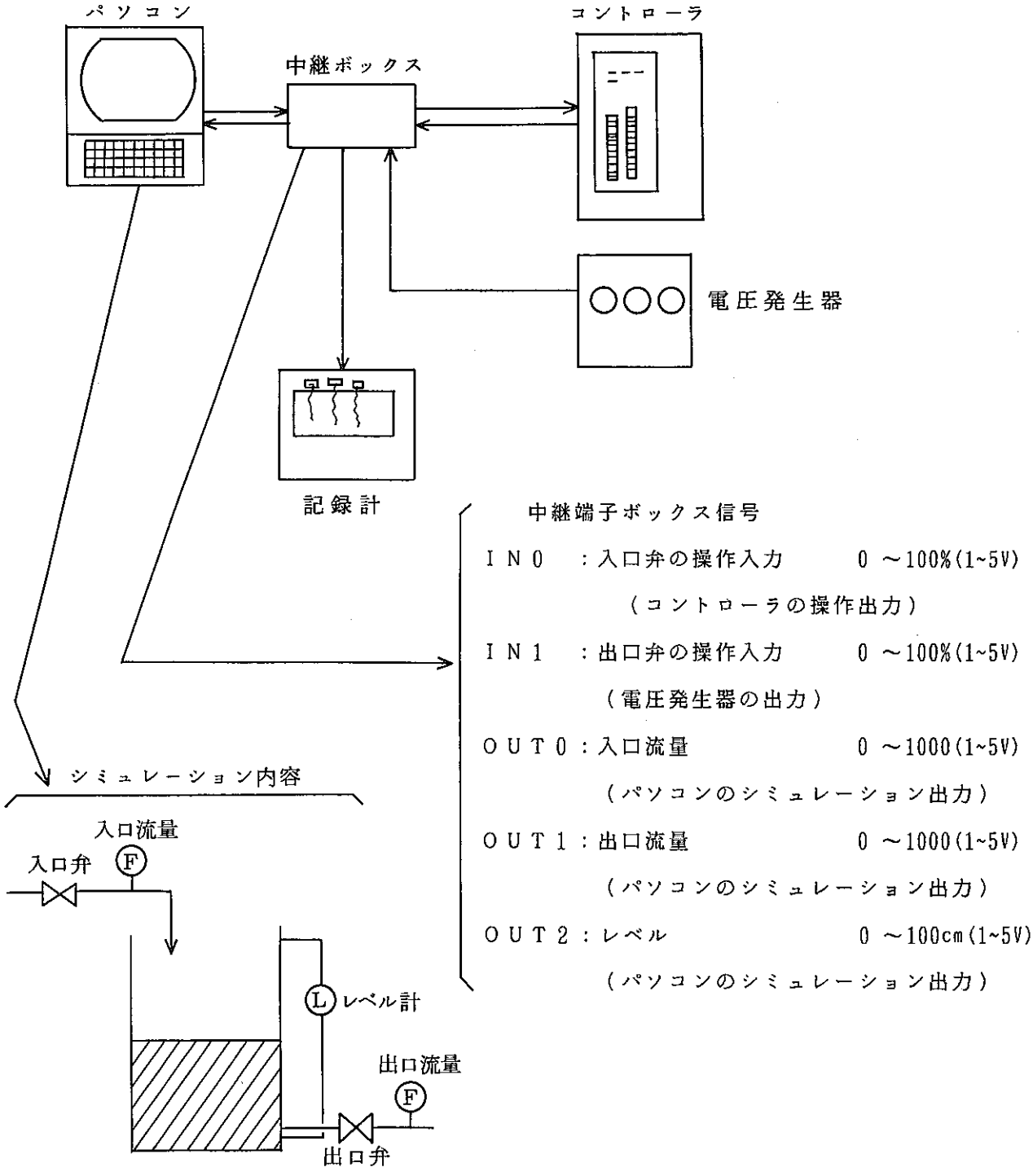
Ⅵ　フィードフォワード実習

Ⅶ　アンケート

※コントローラの取扱については添付資料（Ⅱ）、パソコンの取扱については添付資料（Ⅲ）を参照のこと。
又、要領書中の“ＭＶ”は操作出力、“ＳＶ”は設定値を表す。

実習の概要

図Ｉ－１に実習装置の概略図、図Ｉ－２にハードウェア構成図、図Ｉ－３にレベル制御模擬時のＣＲＴ画面を示す。



図Ｉ－１　実習装置概略図

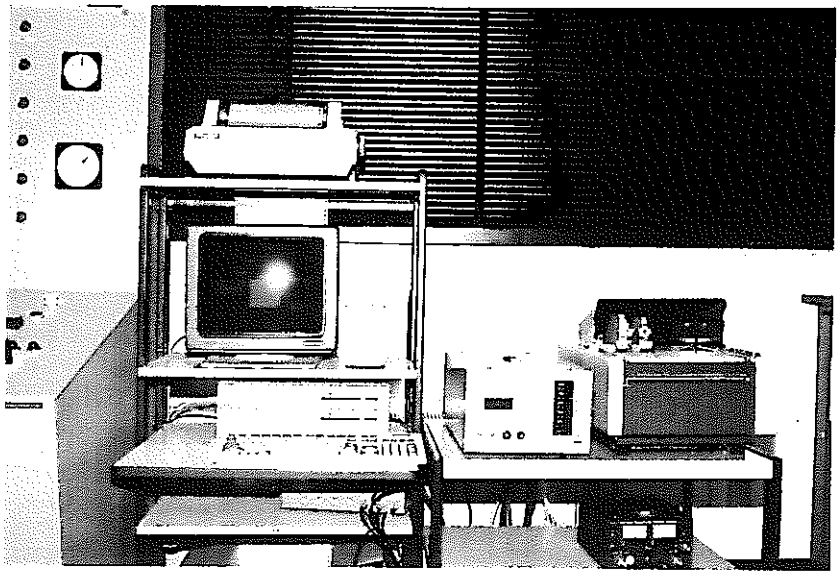


図１－２　実習装置ハードウェア構成図

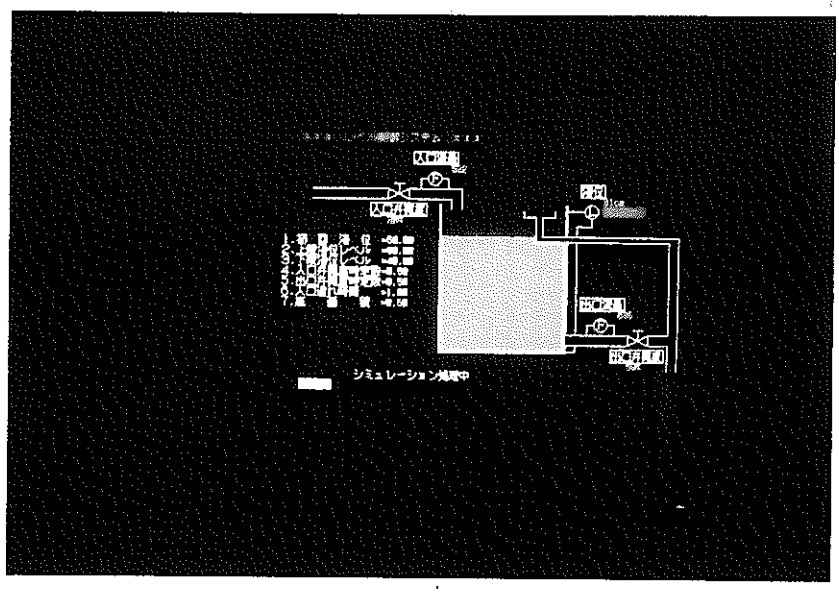


図１－３　レベル制御模擬時のＣＲＴ画面

Ⅰ　ＯＮ－ＯＦＦ制御実習

実習準備

(1)　コントローラ、電圧発生器、記録計、パソコンの電源をＯＮにする。

(2)　コントローラをＯＮ－ＯＦＦ制御モードに設定する。

1.　実習Ⅰ－１（ＯＮ－ＯＦＦ動作確認）

(1)　パソコンのＰＶ出力ソフトを起動し、連続出力変化モードにする。

(2)　コントローラの設定値（ＳＶ）を50cmに設定する。

(3)　ＯＮ－ＯＦＦ制御幅を10％にし、パソコンよりＰＶを変化させ、ＭＶの変化を観察する。

(4)　ＯＮ－ＯＦＦ制御幅を変化させ、ＭＶの変化を観察する。

ＯＮ－ＯＦＦ制御動作を把握する

2.　実習Ⅰ－２（ＯＮ－ＯＦＦ制御性確認“標準”）

(1)　パソコンのシミュレーションソフトを起動する。
　　シミュレーションデータは“標準”を使用する。

(2)　コントローラの設定値を50％、ＯＮ－ＯＦＦ制御幅を５％に設定し、Ⓐモードにする。

(3)　パソコンのシミュレーションを開始する。

(4)　電圧発生器にて出口弁開度を50％にする。

(5)　制御性を観察する。

(6)　ＯＮ－ＯＦＦ制御幅を変え、制御性を観察する。
　　良好な制御が行えるように調整する。

3.　実習Ⅰ－３（ＯＮ－ＯＦＦ制御性確認“入口流量遅れ大”）

(1)　パソコンのシミュレーションソフトを起動する。
　　シミュレーションデータは“入口流量遅れ大”を使用する。

(2) コントローラの設定値を50%、ＯＮ－ＯＦＦ制御幅を５％に設定し、Ⓐモードにする。

(3) パソコンのシミュレーションを開始する。

(4) 電圧発生器にて出口弁開度を50%にする。

(5) 制御性を観察する。（ＯＮ－ＯＦＦ制御幅を変え、良好な制御が行えるようにする。）

実習Ｉ－２との違いを把握する

4. 実習Ｉ－４（ＯＮ－ＯＦＦ制御性確認“系統応答小”）

(1) パソコンのシミュレーションソフトを起動する。

シミュレーションデータは”系統応答小”を使用する。

(2) コントローラの設定値を50%、ＯＮ－ＯＦＦ制御幅を５％に設定し、Ⓐモードにする。

(3) パソコンのシミュレーションを開始する。

(4) 電圧発生器にて出口弁開度を50%にする。

(5) 制御性を観察する。（ＯＮ－ＯＦＦ制御幅を変え、良好な制御が行えるようにする。）

実習Ｉ－２，Ｉ－３との違いを把握する

ＯＮ－ＯＦＦ制御

・サイクリングを生じる。
・むだ時間が大きい系統は、サイクリング幅が増加する。
・系統の変化速度が遅い場合には、良好な制御性が得られる。

Ⅱ　比例＋積分＋微分制御実習

実習準備

⑴　コントローラ、電圧発生器、記録計、パソコンの電源をＯＮにする。

⑵　コントローラを２ndＰＩＤモードにし、積分時間を3276秒（積分動作削除）に設定し、微分時間を０秒に設定する。

1.　実習Ⅱ－１（比例動作確認）

⑴　パソコンのＰＶ出力ソフトを起動し、連続出力変化モードにする。（一定値出力モードでも可）

⑵　パソコンよりＰＶ50cmを出力する。

⑶　コントローラをⓂモードにて50％を出力する。

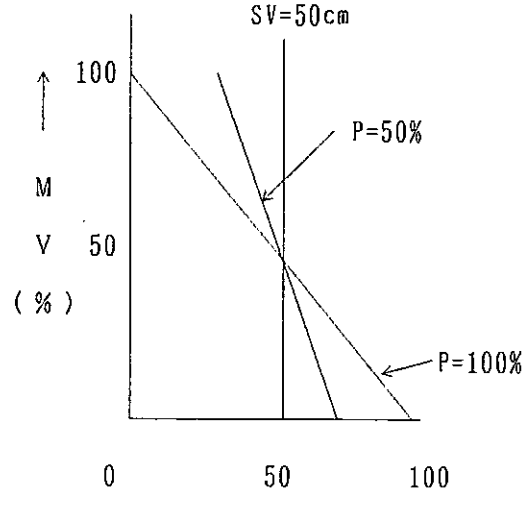
⑷　コントローラ設定値を50cmに設定し、Ⓐモードにする。

⑸　比例帯を20％に設定し、ＰＶを変化させ、コントローラの出力値（ＭＶ）を表Ⅱ－１に記入する。

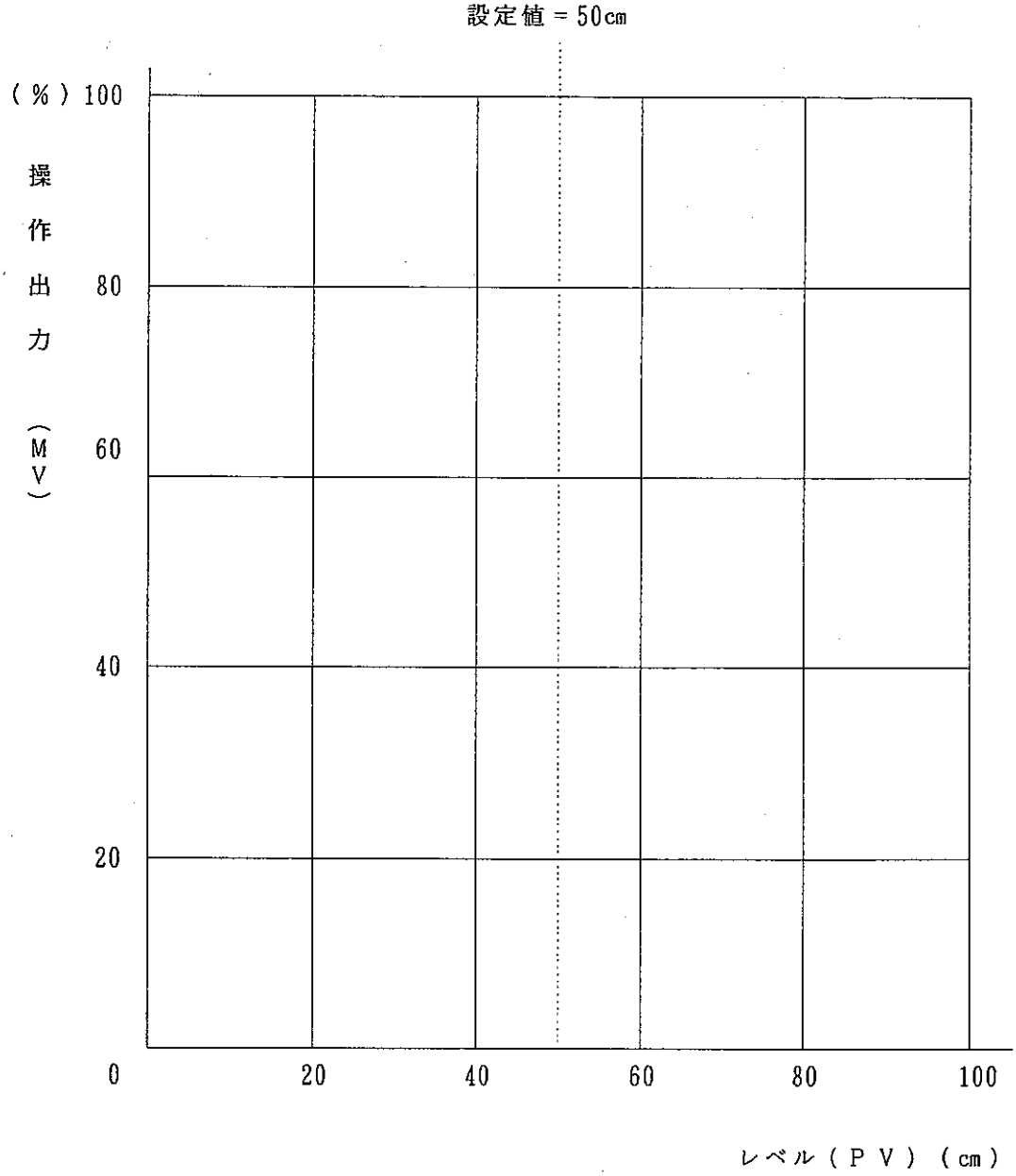
⑵～⑸の操作を比例帯を変化させて行う。

※　必ずＳＶ50％、ＰＶ50％時にＭＶが50％であることを確認してから行う。
（ずれている場合はⓂモードにて調整する。）

⑹　ＰＶとＭＶとの関係を図Ⅱ－１にプロットし、比例帯と操作出力との関係を把握する。



プロット例



図Ⅱ－１　比例帯と操作出力

表Ⅱ－1　比例帯と操作出力の関係

設定値(SV) (cm)	比例帯(P) (%)	レベル(PV) (cm)	偏差(DV) (%)	操作出力 MV (%)
50	20	50	0	50
		40		
		45		
		55		
		60		
	50	50	0	50
		25		
		35		
		45		
		55		
		65		
		75		
	100	50	0	50
		0		
		20		
		40		
		60		
		80		
		100		
		50	0	50
		0		
		20		
		40		
		60		
		80		
		100		

2. 実習Ⅱ－2（比例制御性確認）

(1) パソコンのシミュレーションソフトを起動する。

シミュレーションデータは“標準”を使用する。

(2) コントローラ設定値を50cm、比例帯を80％、積分時間を15％に設定する。

(3) シミュレーションソフトを開始し、コントローラをⒶモードにする。

(4) 電圧発生器にて出口弁開度を50％にし、系統が安定するまで待つ。

(5) 比例帯を200％(150％、100％、80％、50％、20％）に設定し、積分動作を殺す。（積分時間を3276秒）

(6) 出口弁を50％→75％又は50％→25％に変化させ、ＰＶ変化を観察する。

(7) (2)～(6)の動作を比例帯を変えて行う。

> 比例制御ではオフセット（制御動作が終わって平衡状態に達した後でも偏差が残る）を生ずる、このオフセットは比例帯を狭くすれば減少できるがあまり狭くするとサイクリングを起こす。

3. 実習Ⅱ－3（比例＋積分動作確認）

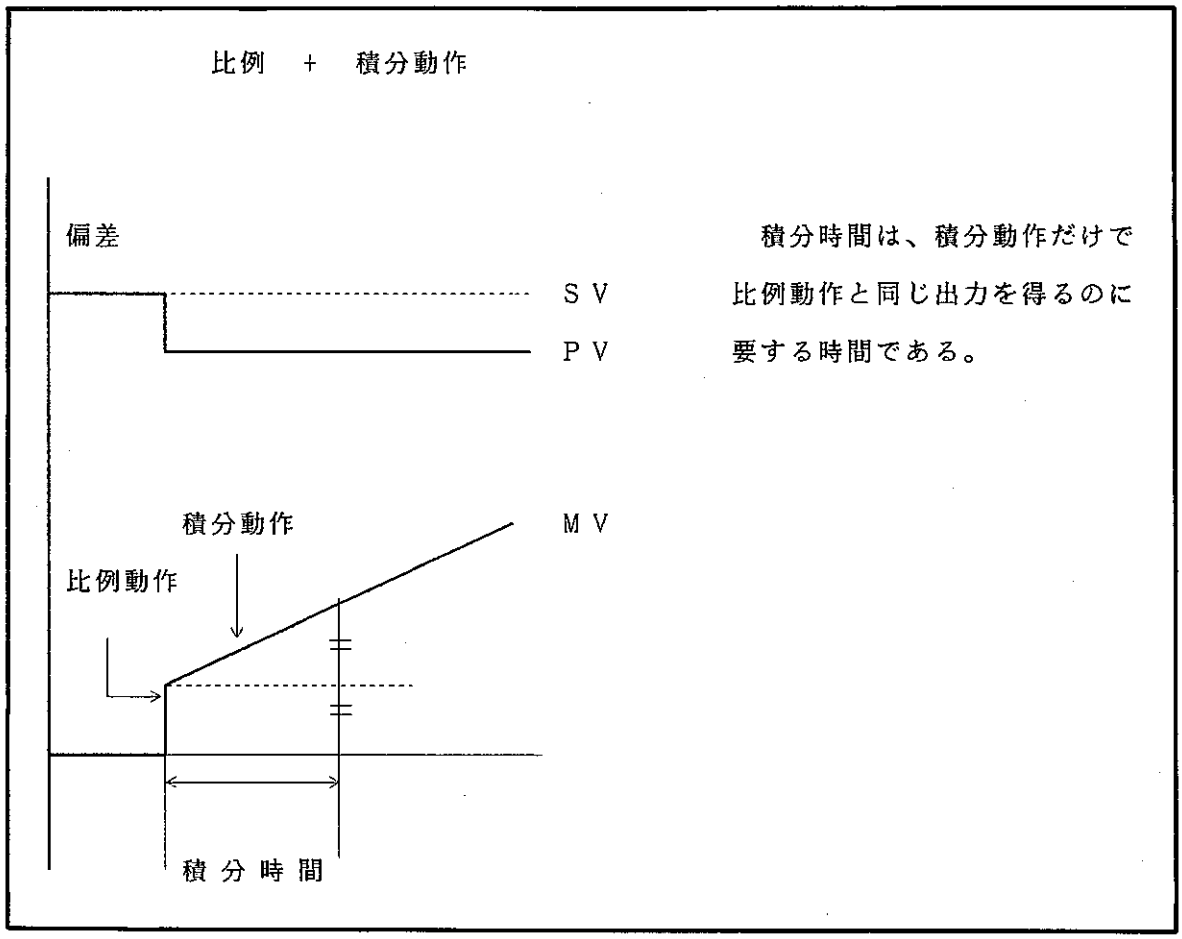
(1) パソコンのＰＶ出力ソフトを起動し、一定値出力モードにする。

(2) パソコンより50cmを出力する。

(3) コントローラのＭＶを50％、比例帯を100％、積分時間を10秒に設定する。

(4) コントローラをⒶモードにし、ＰＶを10％程度変化させ、コントローラの出力を記録計で観察する。

(5) (2)～(4)の要領で積分時間を変え、コントローラの出力変化を観察する。（また、比例帯を変えた場合も観察する。）



4. 実習Ⅱ－4（比例＋積分制御性確認）

(1) パソコンのシミュレーションソフトを起動する。
シミュレーションデータは“標準”を使用する。

(2) コントローラ設定値(SV)を50cm、比例帯を80％、積分時間を15秒に設定する。

(3) シミュレーションソフトを開始させ、コントローラをⒶモードにする。

(4) 電圧発生器にて出口弁を50％にし、系統が安定するまで待つ。

(5) コントローラの積分動作を殺し（積分時間3276秒）出口弁を50％→75％にする。
（オフセットが残ったまま静定することを確認する。）

(6) コントローラの積分時間を50秒程度に設定し操作出力、液位変化を観察する。
（積分動作によりオフセットが消えることを確認する。）

(7) 系統が安定したら積分時間を変え、出口弁にて外乱を与え積分時間による制御性の違いを観察する。

比例動作に積分動作を加えるとオフセットを取り除くことができる

5. 実習Ⅱ－5（比例＋微分動作確認、ステップ変化応答）

(1) パソコンのＰＶ出力ソフトを起動し、一定値出力モードにする。

(2) コントローラをⓂモードにし50％出力とする。

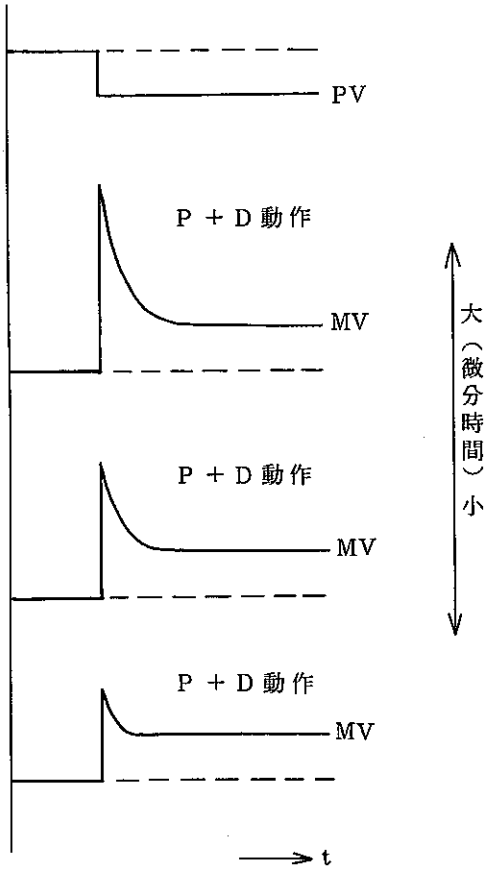
(3) パソコンよりＰＶ50㎝を出力する。

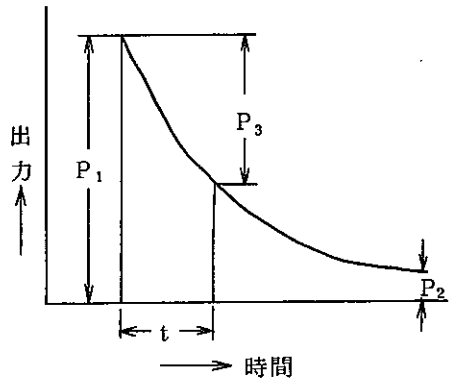
(4) コントローラの比例帯を100％、積分時間を3276秒、微分時間を10秒に設定する。

(5) コントローラをⒶモードにし、ＰＶを10％程度変化させ、操作出力変化を観察する。

(6) 微分時間を変え、外乱（ＰＶ変化）を与え、ＭＶを観察する。

微分時間を変化させると下図のようになることを確認する。





$P_3 = 0.632 (P_1 - P_2)$

$T_D = t \times \frac{P_1}{P_2}$

6. 実習Ⅱ－6（比例＋微分動作、ランプ変化応答）

(1) パソコンのＰＶ出力ソフトを起動し、ランプ変化出力モードにする。

(2) コントローラをⓂモードにし50％出力とする。

(3) パソコンを初期値50cm、目標値０cm、変化率１cm／secにセットする。

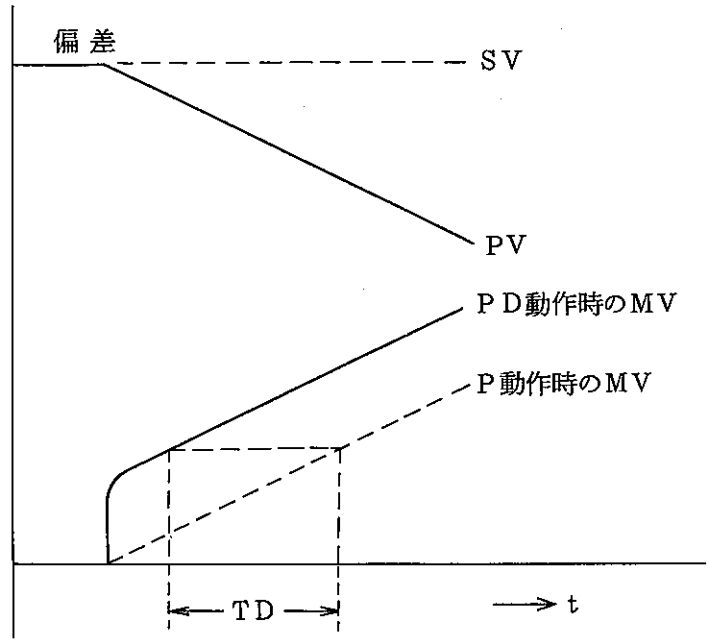
(4) コントローラの比例帯を100％、積分時間を3276秒、微分時間を10秒に設定する。

(5) コントローラの設定値（ＳＶ）を50cmに設定しⒶモードにする。

(6) ＰＶのランプ変化をパソコンより開始させ、コントローラの操作出力を観察する。

(7) ＰＶの変化率及び微分時間を変え、同様にコントローラの出力を観察する。

微分時間が下記の時間であることを確認する。



7. 実習Ⅱ－7（比例＋微分制御性確認）

(1) パソコンのシミュレーションソフトを起動する。

シミュレーションデータは“標準”を使用する。

(2) コントローラ設定値（ＳＶ）を50㎝、比例帯を80％、積分時間を15秒、微分時間を0秒に設定する。

(3) シミュレーションソフトを開始させ、コントローラをⒶモードにする。

(4) 電圧発生器にて出口弁開度を50％に設定し、系統が安定するまで待つ。

(5) コントローラの積分時間を3276秒に設定し、微分時間を３秒程度に設定する。

(6) 電圧発生器にて出口弁開度を50％→75％に変化させ、操作出力（ＭＶ）と液位変化（ＰＶ）を観察する。

(7) 微分時間を変え外乱（出口弁開度変化）を与え、操作出力（ＭＶ）変化、液位（ＰＶ）変化を観察する。

Ｐ＋Ｄ制御

・比例制御時より応答が速くなる。

・微分時間を大きくするとハンチングを起こす。

・オフセットが残る

8. 実習Ⅱ－8（比例＋積分＋微分動作確認）

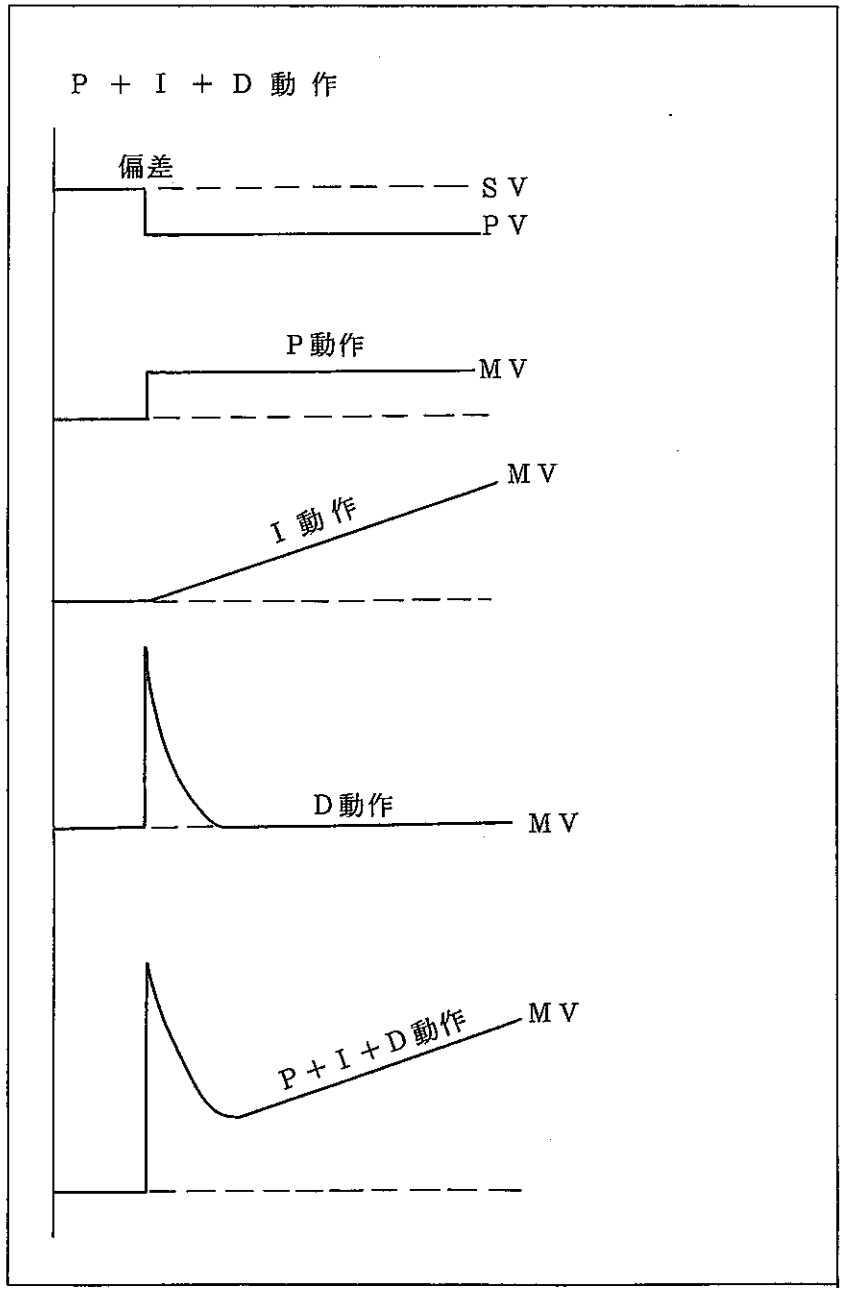
(1) パソコンのＰＶ出力ソフトを起動し、一定値出力モードにする。

(2) コントローラをⓂモードにし50％出力とする。

(3) パソコンよりＰＶ50cmを出力する。

(4) コントローラの比例帯を100％、積分時間を20秒、微分時間を５秒に設定する。

(5) コントローラをⒶモードにし、ＰＶを10％程度変化させ、操作出力変化を観察する



9. 実習Ⅱ－9（比例＋積分＋微分制御性確認）

(1) パソコンのシミュレーションソフトを起動する。

シミュレーションデータは“標準”を使用する。

(2) コントローラの比例帯を80％、積分時間を15秒、微分時間を2秒に設定する。

(3) シミュレーションソフトを開始させ、コントローラをⒶモードにする。

(4) 電圧発生器にて出口弁開度を50％にし、系統を安定させる。

(5) 電圧発生器にて出口弁開度を変化させ、制御性を観察する。

(6) 比例帯、積分時間、微分時間を変え、各定数変化に対する制御性を観察する。

Ｐ＋Ｉ＋Ｄ制御ではＰＩ制御より応答が速い。

Ⅲ　最適調整方法（最適ＰＩＤ定数の求め方）実習

◎ジーグラ・ニコルスの限界感度法

(1)　パソコン、コントローラ、記録計、電圧発生器の電源をＯＮにする。

(2)　パソコンのシミュレーションソフトを起動する。

　　シミュレーションデータは“標準”を使用する。

(3)　コントローラの比例帯を100％、積分時間を20秒、微分時間を０秒にする。

(4)　コントローラの設定値（ＳＶ）を50㎝としⒶモードにする。

(5)　電圧発生器にて出口弁開度を50％にし、系統が安定するまで待つ。

(6)　コントローラの積分動作を殺す。（積分時間3276秒に設定）

(7)　コントローラの比例帯を徐々に狭くして行き、サイクリングを始める限界*1での比例帯をＰcとし、このときの持続周期をＴcとする。

*1　サイクリングが安定している状態（∿∿∿）であること、振幅が発散（∿∿∿）又は集束（∿∿∿）する場合は比例帯を調整し、振幅を安定させる。

(8)　(7)で求めたＰcとＴcを次項の表（表Ⅲ－１）にあてはめると最適定数が求まる。

$K_C = 1 / P_C$

K_P＝最適比例感度（Ｐ＝最適比例帯）

T_I＝最適積分時間

T_D＝最適微分時間

表Ⅲ－1　最適定数

制御動作	K_P　　（P）	T_I	T_D
P　制御	$0.5K_c$　（$P_c/0.5$）	———	———
PI　制御	$0.45K_c$　（$P_c/0.45$）	$0.83T_c$	———
PID制御	$0.6K_c$　（$P_c/0.6$）	$0.5\ T_c$	$0.125\ T_c$
PD　制御	$0.55K_c$　（$P_c/0.55$）	———	$0.1T_c$

(9)　(8)で求めた最適定数を表Ⅲ－2に記入する。

表Ⅲ－2　最適定数

制御動作	K_P　　（P）	T_I	T_D
P　制御	（　　）	———	———
PI　制御	（　　）		———
PID制御	（　　）		
PD　制御	（　　）	———	

(10)　求めた最適定数をコントローラに設定し、P、PI、PID、PD制御での制御性を確認する。

外乱は出口弁開度にて与えるものとし、外乱投入前は設定値50cm、出口弁開度50%にて安定させてから外乱を与えると比較しやすい。

Ⅳ　操作出力補正実習

1.　出口弁開度による制御性の違い

⑴　パソコン、コントローラ、記録計、電圧発生器の電源をＯＮにする。

⑵　パソコンのシミュレーションソフトを起動する。

シミュレーションデータは“標準”を使用する。

⑶　コントローラをＰＩＤ制御モードにし、比例帯及び積分時間をⅢで求めた最適値（ＰＩ制御）にする。

⑷　シミュレーションソフトを開始させ、コントローラ設定値を50㎝でⒶモードにし、出口弁開度50％にて、系統を安定させる。

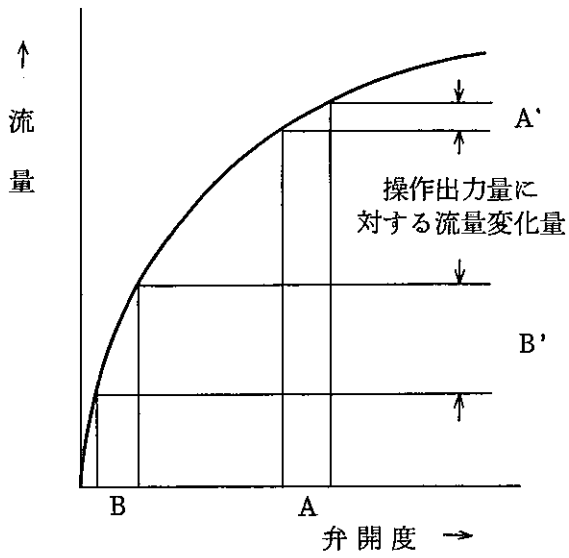
⑸　系統が安定している状態から、出口弁を徐々に絞って（目標10％）行き制御性を観察する。

制御性が悪くなることを確認する。

⑹　出口弁開度10％にてジーグラ・ニコルスの限界感度法により、最適ＰＩ定数を求める。（実習Ⅲ　参照）

最適ゲインが小さくなることを確認する。

これは、入口弁開度 ⟷ 流量特性が図Ⅳ－１のようになっているためである。



つまり、レベルが安定するためには、出入口流量が等しくなる必要があり、出口弁を絞ると図のＡの位置で制御（入口弁）していたものが、Ｂの位置へ変化する。このため、操作出力の変化量に対する流量変化量が増大し、系統変化が急激になるためである。また、出口弁開度の大きい位置ではゆるやかになる。

図Ⅳ－１　流量特性

2. 操作出力補正制御

前項の現象を解消するためには、本文で述べた可変ゲインによる方法、弁開度補正による方法等がある。本章では、後者の弁開度補正の実習要領について述べる。

(1) 操作出力（ＭＶ）を補正操作出力に切換える。
中継ボックスのＩＮ０を補正操作出力に切換える。
（操作出力と入口流量が直線関係になる。）

(2) パソコン、コントローラ、記録計、電圧発生器の電源をＯＮにする。

(3) シミュレーションソフトを起動する。

(4) 出口弁を50％開度にし、シミュレーションソフトを開始させ、コントローラ設定値50cmにて最適ＰＩ定数を求める。
ジーグラ・ニコルスの限界感度法（実習Ⅲ参照）

(5) (4)で求めた最適ＰＩ定数にて制御性を観察する。

出口弁の開度によって制御性が変わらないことを確認する。出力補正を施すと偏差に対する流量変化量が等しくなり、種々の条件において制御性が変わらない。

V　カスケード制御実習

(1)　パソコン、コントローラ、記録計、電圧発生器の電源をＯＮにする。

(2)　操作出力は補正操作出力とする。

(3)　パソコンのシミュレーションソフトを起動する。

シミュレーションデータは“標準”を使用する。

(4)　コントローラをカスケードモードにし、シミュレーションソフトを開始する。

(5)　２ndブロック（流量制御）の最適ＰＩ定数を求める。

コントローラ前面の表示は、流量表示となっている。

(a)　コントローラをⒶモードにし、ジーグラ・ニコルスの限界感度法にて、最適ＰＩ定数を求める。

(6)　１stブロック（レベルカスケード制御）の最適定数を求める。

(a)　２ndブロックのＰＩ定数を(5)で求めた値に設定する。

(b)　電圧発生器にて出口弁開度を50％にする。

(c)　コントローラをⒶモードにし、流量設定値を変化させ、レベルを50cmで安定させる。

(d)　１stブロックの比例帯を200％、積分時間を3276秒、微分時間を０秒に設定する。

(e)　１stブロックの設定値をレベルと等しくなるように（偏差が０）調整し、Ⓡモードに投入する。

(f)　１stブロックの比例帯を徐々に小さくし、サイクリングを始める限界（サイクリングが安定している状態）の比例帯と持続周期を求め、これにより最適ＰＩ定数を算出する。

（ジーグラ・ニコルスの限界感度法）

(7)　カスケード制御時の制御性確認

１stブロック、２ndブロックの制御定数を前項で求めた最適値とし、電圧発生器にて出口弁開度を変化させ制御性を観察する。

Ⅵ　フィードフォワード制御実習

(1)　パソコン、コントローラ、記録計、電圧発生器の電源をＯＮにする。

(2)　操作出力は、補正操作出力とする。

(3)　パソコンのシミュレーションソフトを起動する。

　　シミュレーションデータは“標準”を使用する。

(4)　コントローラの制御定数をＶで求めた値とし、電圧発生器にて出口弁開度を50％にする。

(5)　コントローラを㋐モードにし、流量設定値を変化させ、レベルを50㎝で安定させる。

(6)　１stブロックの設定値をレベルと等しくなるように（偏差が０）調整し、㋡モードに投入する。

(7)　電圧発生器にて出口弁開度を変化させ制御性を観察する。

添付資料（Ⅱ）
コントローラ取扱説明書（概要）

1. コントローラ概要説明

2. 各制御モード

(1) ＯＮ－ＯＦＦ制御モード

(2) ＰＩＤ制御モード

(3) カスケード制御モード

(4) フィードフォワード制御モード

コントローラ取扱説明書

詳細についてはメーカ取説及び48ウエハ説明書参照

1. コントローラ概要説明

(1) コントローラ内部ウエハ結線表を表1－1、コントローラ内部結線図を図1－1に示す。また、コントローラ内部結線概略図を図1－2に示す。この結線により、ＯＮ－ＯＦＦ制御、ＰＩＤ制御、カスケード制御、フィードフォワード制御が可能である。

(2) 各部の名称及び機能

図1－3にコントローラの各部名称を示す。

(a) 設定ユニット

制御パラメータ、入出力信号、各種の警報、内部の定数をはじめ、制御・演算内容、運転状態などを表示したり、変更することができる。

(b) モード切換レバー及びモード表示ランプ

モード切換レバーにより運転モードの切換えを行う。レバーを操作した結果、運転モードが切換わるとモード表示ランプが点灯する。

表示の意味は、下記のようになっている。

M － 手動運転モード

A － 2次ブロック調節計が自動運転モード

R － 1次ブロック調節計または外部設定値信号によるカスケード運転ﾓｰﾄﾞ

(c) ＳＶ設定ボタン

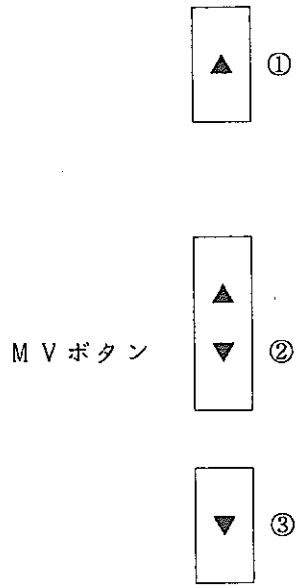
ＳＶボタン △ ①　①を押す・・・・ＳＶ増（FS約40秒）

②を押す・・・・ＳＶ減（FS約40秒）

①と②を押す・・ＳＶ変化なし

▽ ②

(d) ＭＶ操作ボタン



①を押す・・・・ＭＶ指示上昇（FS約40秒）

③を押す・・・・ＭＶ指示下降（FS約40秒）

①と②を押す・・ＭＶ指示上昇（FS約８秒）／高速

③と②を押す・・ＭＶ指示下降（FS約８秒）／高速

①と③又は①②③を同時に押す・・ＭＶ変化なし

(e) チェンジボタン

ＭＶを高精度に読みとりたい場合、チェンジボタン ◀ を押すとＳＶ指示計にＭＶが指示される。

2. 各制御モード

コントローラの内部ＳＷを操作することにより、下表の制御モードが構成される。

ＳＷ*1 / (制御ﾓｰﾄﾞ)	ＳＷ１ (CON 06)	ＳＷ２*2 (CON 05)	ＳＷ３ (CON 08)	備　　考
ＯＮ－ＯＦＦ	―――	ＯＦＦ 0.00	ＯＮ 0.01	Ⓜﾓｰﾄﾞで手動操作可能 ⒶﾓｰﾄﾞでＯＮ－ＯＦＦ制御 Ⓡ ―――
２ｎｄ　ＰＩＤ	―――	ＯＦＦ 0.00	ＯＦＦ 0.00	Ⓜﾓｰﾄﾞで手動操作可能 ⒶﾓｰﾄﾞでレベルのPID制御 Ⓡ ―――
カスケード	ＯＦＦ 0.00	ＯＮ 0.01	ＯＦＦ 0.00	Ⓜﾓｰﾄﾞで手動操作可能 Ⓐﾓｰﾄﾞで入口流量PID制御 Ⓡﾓｰﾄﾞでﾚﾍﾞﾙのｶｽｹｰﾄﾞ制御
ﾌｨｰﾄﾞﾌｫﾜｰﾄﾞ（出口流量を加算）	ＯＮ 0.01	ＯＮ 0.01	ＯＦＦ 0.00	Ⓜﾓｰﾄﾞで手動操作可能 Ⓐﾓｰﾄﾞで入口流量PID制御 Ⓡﾓｰﾄﾞでﾚﾍﾞﾙのﾌｨｰﾄﾞﾌｫﾜｰﾄﾞ制御

*1　ＳＷ　No.については図１－２参照
*2　ＯＮ：２ｎｄ　ＰＶが入口流量
　　ＯＦＦ：２ｎｄ　ＰＶがレベル

(1)　ＯＮ－ＯＦＦ制御モード

(a)　ＯＮ－ＯＦＦ制御モード設定

ＳＷ２をＯＦＦ、ＳＷ３をＯＮにすることにより、図２－１に示す制御系が構成される。

設定ユニットにて

[CON] [0] [5] [0] [ST]　(SW2 OFF)

[CON] [0] [8] [0] [.] [0] [1] [ST]　(SW3 ON)

(b)　機能説明

（ｉ）　ＣＯＮ11にてＯＮ－ＯＦＦ制御幅の設定が可能

例）[CON] [1] [1] [5] [ST]

（ＯＮ－ＯＦＦ幅±５％に設定）

（ii）　ＣＯＮ12にてＯＦＦ時の弁開度出力の設定が可能

例）[CON] [1] [2] [0] [ST]

（ＯＦＦ時の弁開度出力を０％に設定）

（iii） ＣＯＮ13にてＯＮ時の弁開度出力設定が可能

例） [ＣＯＮ] [1] [3] [1] [0] [0] [ＳＴ]

（ＯＮ時の弁開度を100％に設定）

（iv） ＳＶ（設定値）は、コントローラ前面のＳＶ設定ボタンで変更可能。

また、設定ユニットで直接設定することも可能である。

例） [2nd] [ＳＶ] [5] [0] [ＳＴ] 又は、

[2nd] [0] [4] [5] [0] [ＳＴ]

（ＳＶを50％に設定）

(c) 動作説明

(b)の例のように設定した場合、ＰＶが55％を超えると操作出力は０％となり45％以下になると操作出力は100％になる。

また、45％から55％の間では現状の操作出力を保持することになる。

(2) ＰＩＤ制御モード（２ndブロック）

(a) ＰＩＤ制御モード設定

ＳＷ２をＯＦＦ、ＳＷ３をＯＦＦにすることにより、図２－２に示す制御系が構成される。

設定ユニットについて

[ＣＯＮ] [0] [5] [0] [ＳＴ] （ＳＷ２ ＯＦＦ）

[ＣＯＮ] [0] [8] [0] [ＳＴ] （ＳＷ３ ＯＦＦ）

(b) 機能説明

（ｉ） 制御定数の設定が設定ユニットにて可能

例） [2nd] [Ｐ／Ｒ] [5] [0] [ＳＴ] （比例帯を50％に設定）

[2nd] [Ｉ／Ｂ１] [3] [0] [ＳＴ] （積分時間を30秒に設定）

[2nd] [Ｉ／Ｂ２] [5] [ＳＴ] （微分時間を５秒に設定）

（ii） ＳＶ（設定値）は、コントローラ前面のＳＶ設定ボタンで変更可能

(c) 動作説明

ＰＶとＳＶにより操作量をＰＩＤ演算し出力する。

また、A01にはシミュレーション系統の入口弁開度と流量の関係を補正した値を出力する。

(3) カスケード制御モード（1st PID+2nd PID）

(a) カスケード制御モード設定

SW1をOFF、SW2をON、SW3をOFFにすることにより、図2－3に示す制御系が構成される。

CON	0	6	0	ST						（SW1 OFF）
CON	0	5	0	.	0	1	ST			(SW2 ON)
CON	0	8	0	ST						（SW3 OFF）

(b) 機能説明

（i） 制御定数の設定が設定ユニットにて可能

例） 1st P/R 8 0 ST （1stﾌﾞﾛｯｸの比例帯を80%に設定）

1st I/B1 5 0 ST （1stﾌﾞﾛｯｸの積分時間を50秒に設定）

1st D/B2 0 ST （1stﾌﾞﾛｯｸの微分時間を0秒に設定）

2nd P/R 5 0 ST （2ndﾌﾞﾛｯｸの比例帯を50%に設定）

2nd I/B1 2 0 ST （2ndﾌﾞﾛｯｸの積分時間を20秒に設定）

2nd D/B2 2 ST （2ndﾌﾞﾛｯｸの微分時間を2秒に設定）

（ii） 1stブロックのSV（設定値）は、設定ユニットにて変更可能

例） 1st SV 5 0 ST （1stﾌﾞﾛｯｸの設定値を50%に設定）

（iii） 2ndブロックのSV（設定値）は、SV設定ボタンで変更可能。

(c) 動作説明

1stブロックでＰＶ（レベル）とＳＶ（設定値）によりＰＩＤ演算し、2ndブロックのＳＶとして出力する。2ndブロックでは、このＳＶとＰＶ（流量）により、操作量をＰＩＤ演算し出力する。

・操作レバーⓂ位置では、手動操作可能

・操作レバーⒶ位置では、入口流量自動制御可能

・操作レバーⓇ位置では、レベルのカスケード制御可能

(4) フィードフォワード制御モード

(a) フィードフォワード制御モード設定

ＳＷ1をＯＮ、ＳＷ2をＯＮ、ＳＷ3をＯＦＦにすることにより、図2－4に示す制御系が構成される。

設定ユニットにて

CON	0	6	0	.	0	1	ST	
CON	0	5	0	.	0	1	ST	
CON	0	8	0	ST				

(b) 機能説明

（ｉ） 制御定数の設定が設定ユニットにて可能

例）

1st	P／R	8	0	ST	（1stﾌﾞﾛｯｸの比例帯を80%に設定）
1st	I／B1	5	0	ST	（1stﾌﾞﾛｯｸの積分時間を0 秒に設定）
1st	D／B2	0	ST		（1stﾌﾞﾛｯｸの微分時間を0秒に設定）
2nd	P／R	5	0	ST	（2ndﾌﾞﾛｯｸの比例帯を50％に設定）
2nd	D／B1	2	0	ST	（2ndﾌﾞﾛｯｸの積分時間を20秒に設定）
2nd	D／B2	2	ST		（2ndﾌﾞﾛｯｸの微分時間を2秒に設定）

（ii） 1stブロックのＳＶ（設定値）は、設定ユニットにて変更可能

例） [1st] [ＳＶ] [5] [0] [ＳＴ] （1stﾌﾞﾛｯｸの設定値を50％に設定）

（iii） 2ndブロックのＳＶ（設定値）は、ＳＶ設定ボタンで変更可能

(c) 動作説明

1stブロックのＳＶ（設定値）とＰＶによりＰＩＤ演算した値に、出口流量（ＡＩ２）を加算した値を2ndブロックのＳＶとして出力する。2ndブロックではこのＳＶとＰＶ（ＡＩ１よりの流量）により、操作量をＰＩＤ演算し出力する。

・操作レバーⓂ位置では、手動操作可能

・操作レバーⒶ位置では、入口流量自動制御可能

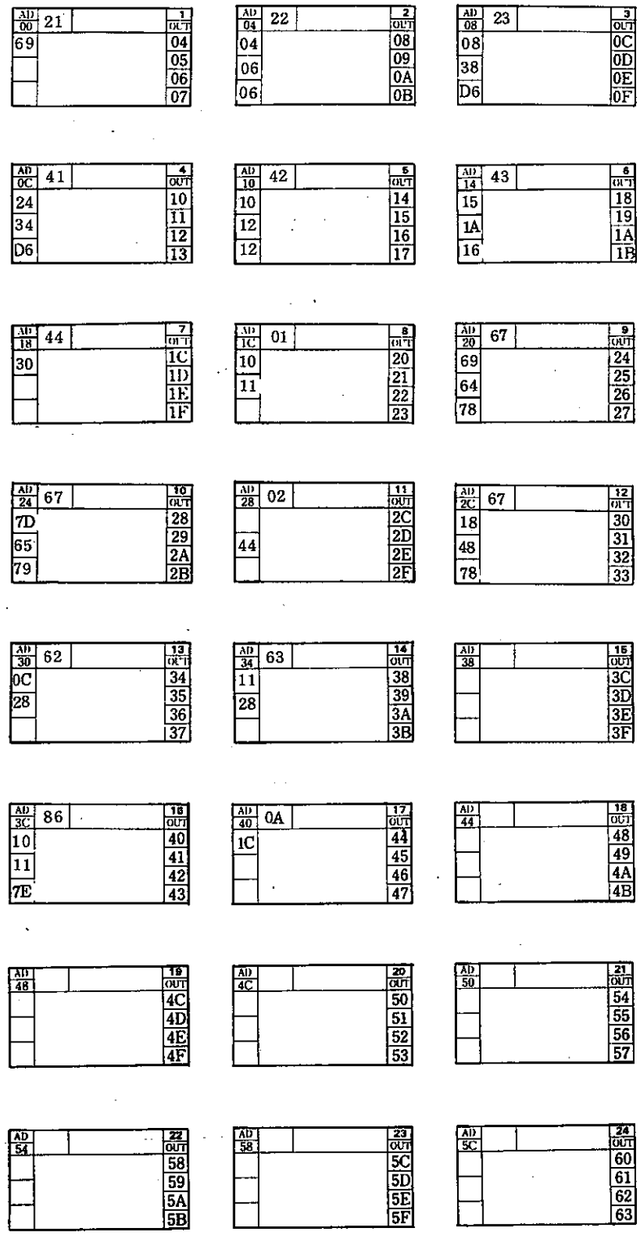
・操作レバーⓇ位置では、レベルのフィードフォワード制御可能

表１－１　コントローラ内部ウエハ結線表

ウエハ結線表　(1～24)

1ST NOR	A8
1ST PRS	AA
1ST RUN	AB
1ST NOT-A	AC
1ST SCCEN	AD
1ST LS	AE
1ST FLT	AF
1ST EXMV	B2
1ST SCC	B4
1ST EXT	B5
1ST INT	B6
1ST MH	B8
1ST ML	B9
1ST ⊿MVH	BC
1ST SH	C0
1ST SL	C1
1ST PH	C2
1ST PL	C3
1ST DPH	C4
1ST DPL	C5
1ST DVH	C6
1ST DVL	C7
1ST STEP 0	F0
1ST STEP 1	F1
1ST STEP 2	F2
1ST STEP 3	F3
1ST STEP 4	F4
1ST STEP 5	F5
1ST STEP 6	F6
1ST STEP 7	F7
2ND NOR	C8
2ND NOT-A	CC
2ND SCCEN	CD
2ND LS	CE
2ND FLT	CF
2ND HMV	D0
2ND M	D1
2ND EX-MV	D2
2ND SCC-MV	D3
2ND SCC	D4
2ND R	D5
2ND L	D6
2ND PV-TRK	D7
2ND MH	D8
2ND ML	D9
2ND ⊿MVH	DC
2ND SH	E0
2ND SL	E1
2ND PH	E2
2ND PL	E3
2ND DPH	E4
2ND DPL	E5
2ND DVH	E6
2ND DVL	E7
FLT 5	EC
FLT 6	ED
FLT 7	EE
FLT 8	EF

AI 1	64
AI 2	65
AI 3	66
AI 4	67
AI 5	68
PV	69
CAS	6A
MVA	6B
PI	6C
HMV SW	98
R SW	99
A SW	9A
M SW	9B
SV UP PBS	9C
SV DN PBS	9D
SMV CMD	9E
EXT SW	9F
DI 1	A0
DI 2	A1
DI 3	A2
DI 4	A3
C-ENBL	A4
R-ACK	A5
PV-TRK CMD	A6
DI 5	A7
1ST SVP	74
1ST MVP	75
2ND SVP	76
2ND MVP	77
CON 05	78
CON 06	79
CON 07	7A
CON 08	7B
CON 09	7C
CON 10	7D
CON 11	7E
CON 12	7F
CON 13	80
CON 14	81
CON 15	82
CON 16	83
(CON 17)	84
(CON 18)	85
(CON 19)	86
(CON 20)	87
(CON 21)	88
(CON 22)	89
(CON 23)	8A
(CON 24)	8B
(BW 1)	8C
(BW 2)	8D
(BW 3)	8E
(BW 4)	8F
(BW 5)	90
(BW 6)	91
(BW 7)	92
(BW 8)	93

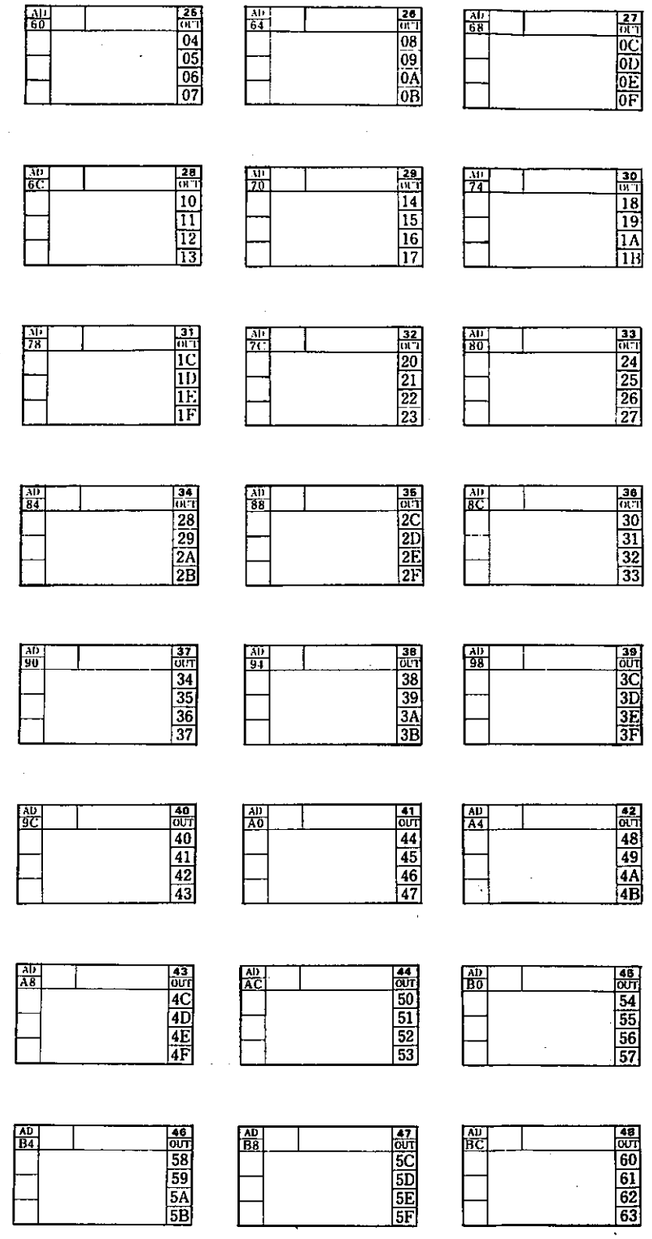


( ) 付は “48ウエハ” 用

ウエハ結線表　(25～48)

1ST NOR	A8
1ST PRS	AA
1ST RUN	AB
1ST NOT-A	AC
1ST SCCEN	AD
1ST LS	AE
1ST FLT	AF
1ST EXMV	B2
1ST SCC	B4
1ST EXT	B5
1ST INT	B6
1ST MH	B8
1ST ML	B9
1ST ⊿MVH	BC
1ST SH	C0
1ST SL	C1
1ST PH	C2
1ST PL	C3
1ST DPH	C4
1ST DPL	C5
1ST DVH	C6
1ST DVL	C7
1ST STEP 0	F0
1ST STEP 1	F1
1ST STEP 2	F2
1ST STEP 3	F3
1ST STEP 4	F4
1ST STEP 5	F5
1ST STEP 6	F6
1ST STEP 7	F7
2ND NOR	C8
2ND NOT-A	CC
2ND SCCEN	CD
2ND LS	CE
2ND FLT	CF
2ND HMV	D0
2ND M	D1
2ND EX-MV	D2
2ND SCC-MV	D3
2ND SCC	D4
2ND R	D5
2ND L	D6
2ND PV-TRK	D7
2ND MH	D8
2ND ML	D9
2ND ⊿MVH	DC
2ND SH	E0
2ND SL	E1
2ND PH	E2
2ND PL	E3
2ND DPH	E4
2ND DPL	E5
2ND DVH	E6
2ND DVL	E7
FLT 5	EC
FLT 6	ED
FLT 7	EE
FLT 8	EF

AI 1	64
AI 2	65
AI 3	66
AI 4	67
AI 5	68
PV	69
CAS	6A
MVA	6B
PI	6C
HMV SW	98
R SW	99
A SW	9A
M SW	9B
SV UP PBS	9C
SV DN PBS	9D
SMV CMD	9E
EXT SW	9F
DI 1	A0
DI 2	A1
DI 3	A2
DI 4	A3
C-ENBL	A4
R-ACK	A5
PV-TRK CMD	A6
DI 5	A7
CON 25	74
CON 26	75
CON 27	76
CON 28	77
CON 29	78
CON 30	79
CON 31	7A
CON 32	7B
CON 33	7C
CON 34	7D
CON 35	7E
CON 36	7F
CON 37	80
CON 38	81
CON 39	82
CON 40	83
CON 41	84
CON 42	85
CON 43	86
CON 44	87
CON 45	88
CON 46	89
CON 47	8A
CON 48	8B
FW 1	8C
FW 2	8D
FW 3	8E
FW 4	8F
FW 5	90
FW 6	91
FW 7	92
FW 8	93
FW 9	94
FW 10	95
FW 11	96
FW 12	97



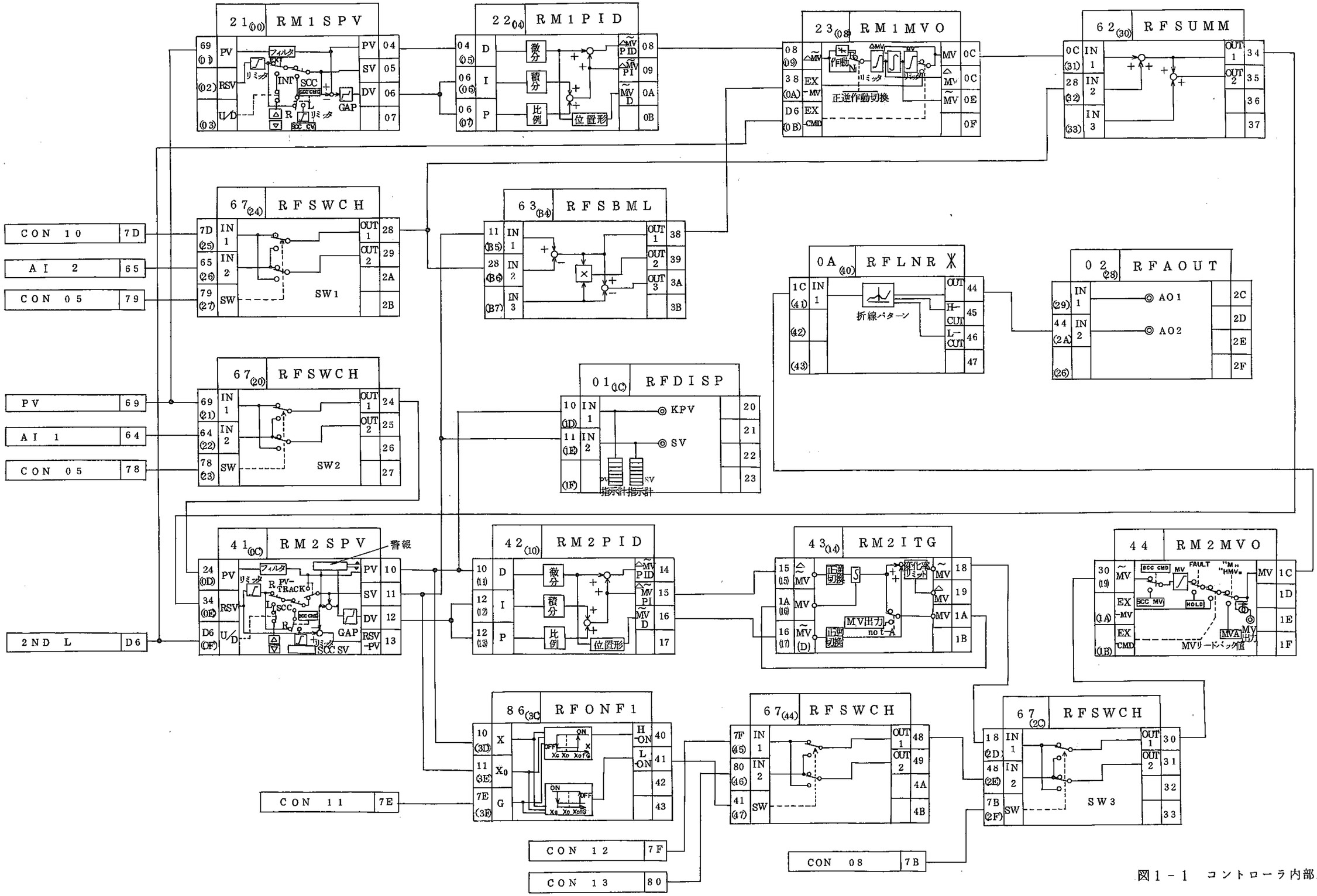


図1－1　コントローラ内部結線図

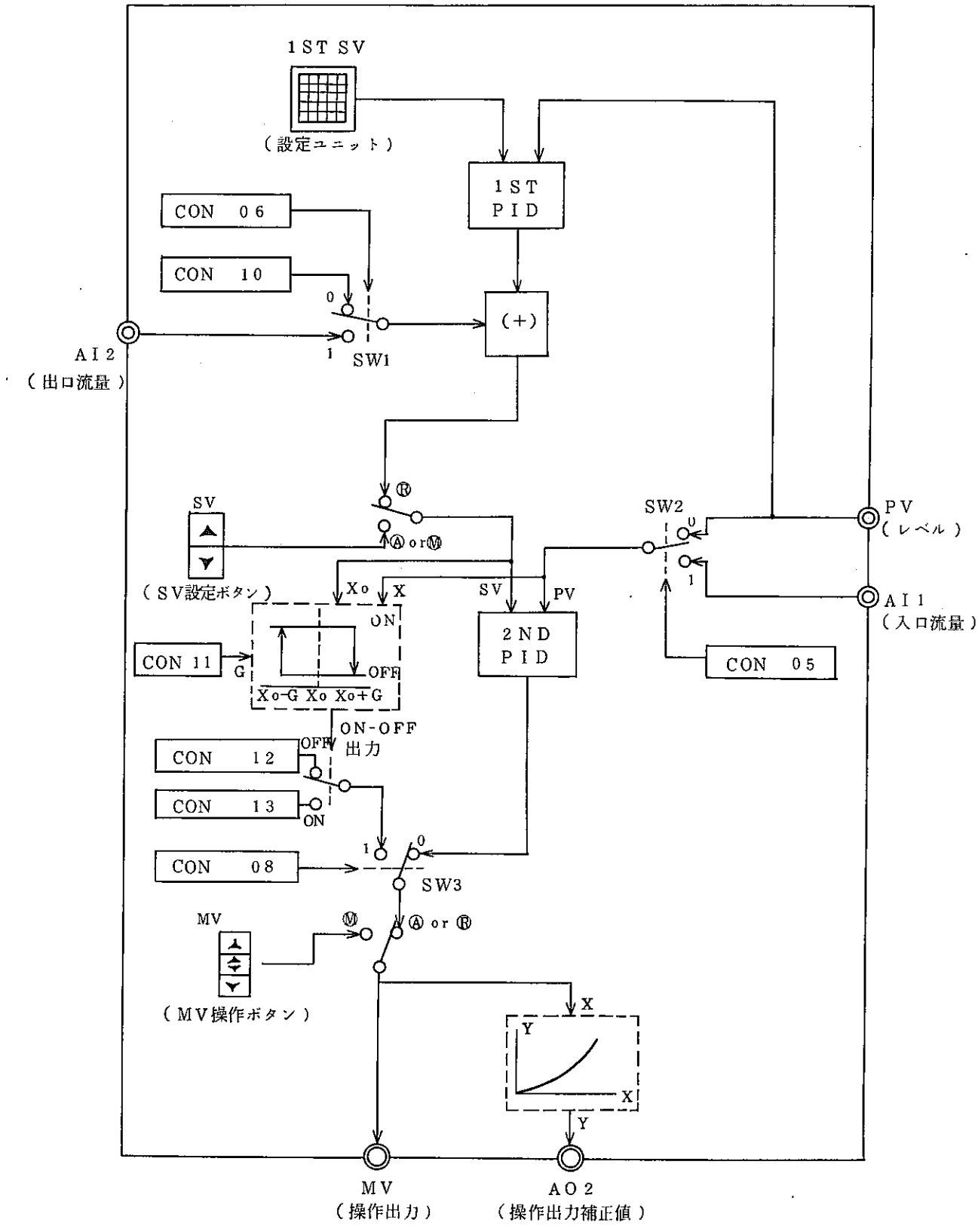


図１－２　コントローラ内部結線概略図

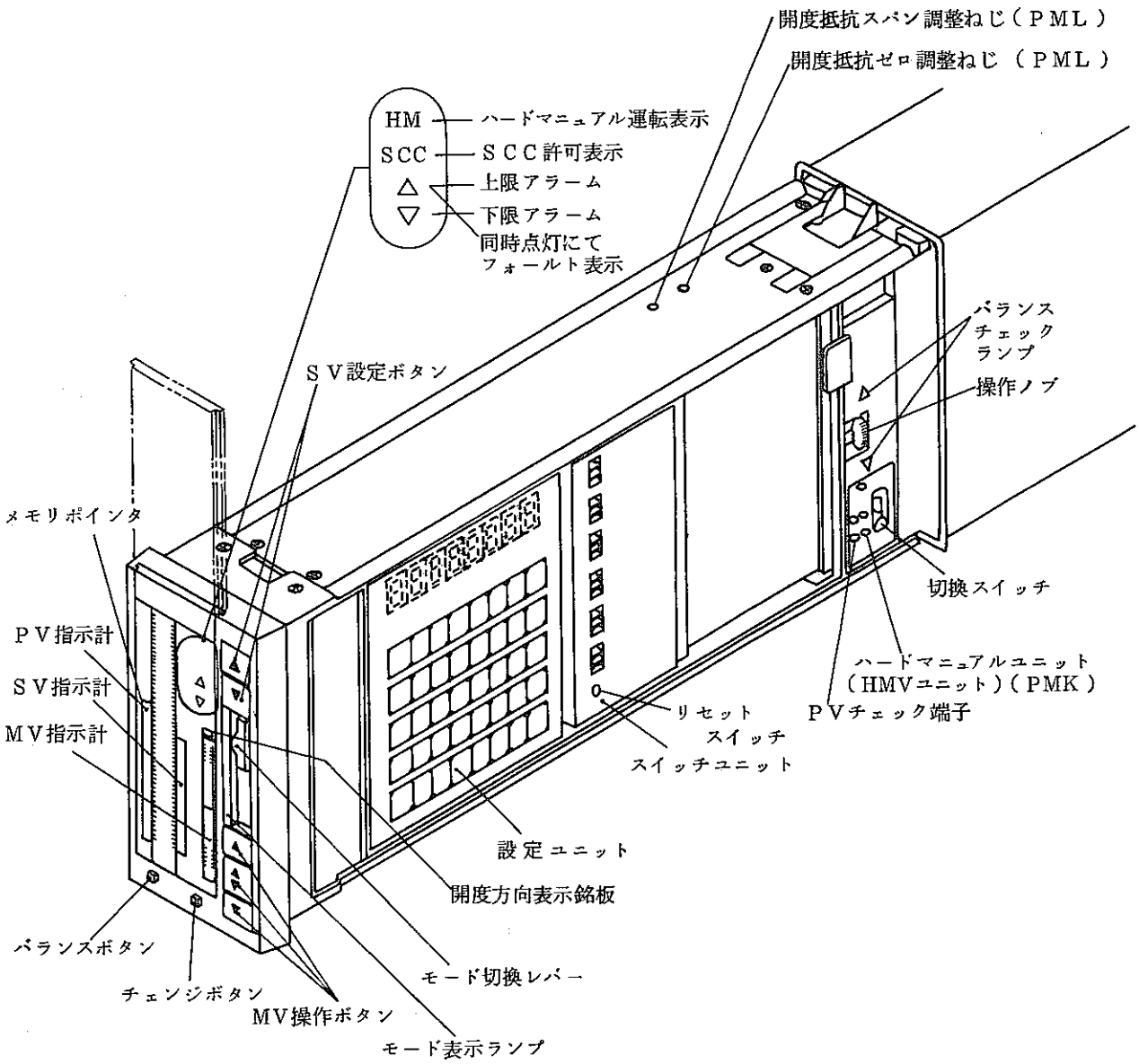


図１－３　コントローラ各部名称

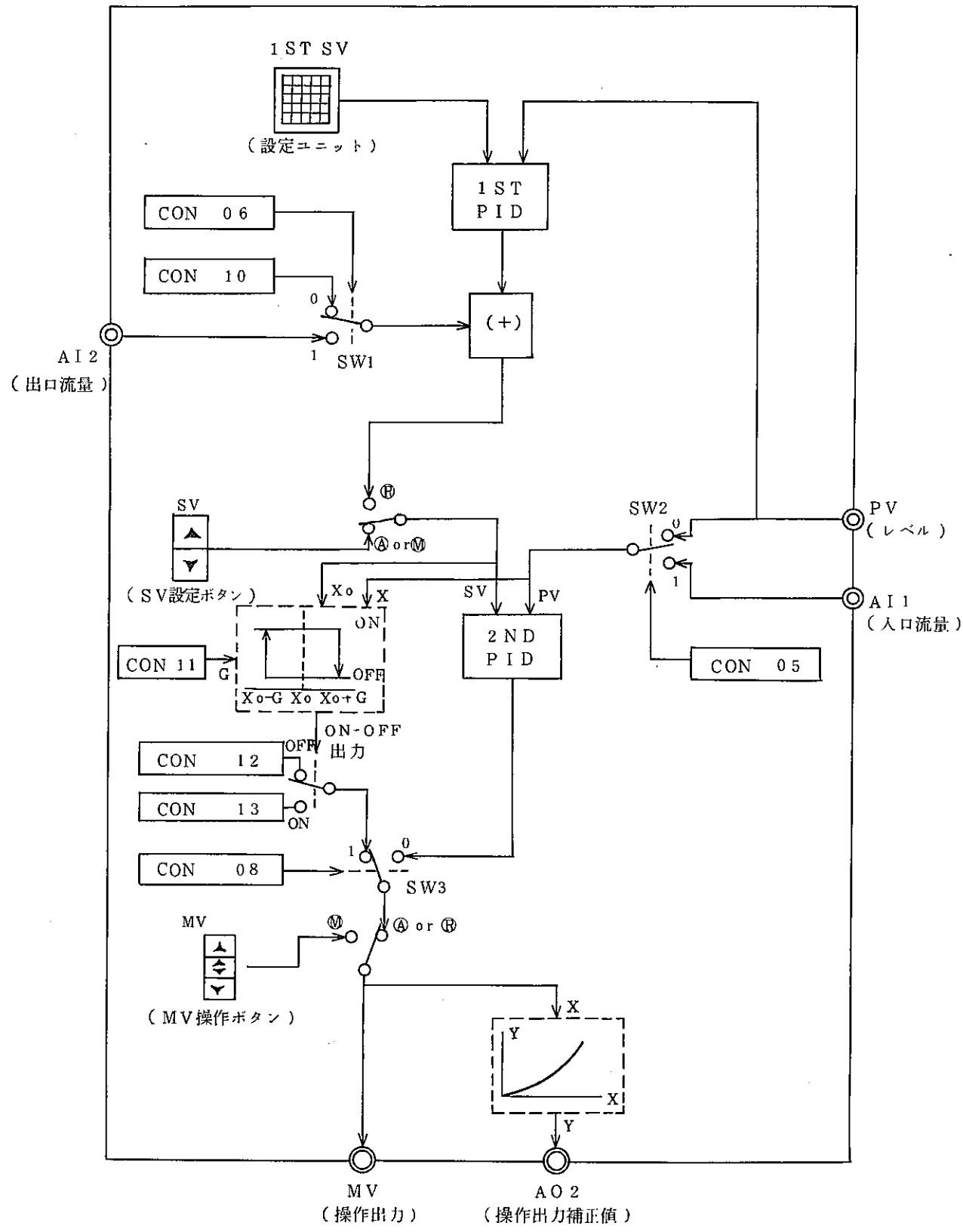


図２－１　ＯＮ－ＯＦＦ制御モード構成図

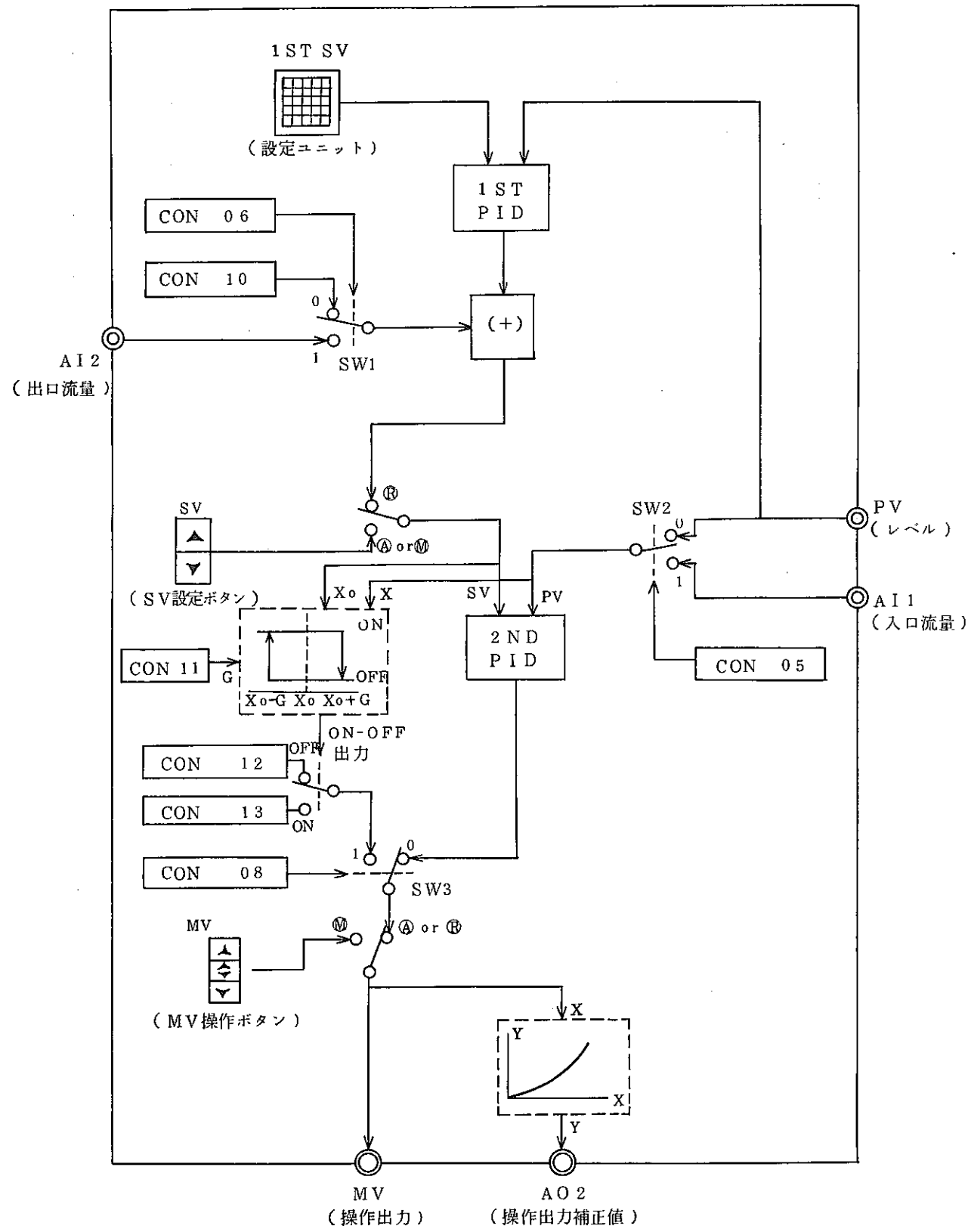


図２－２　ＰＩＤ制御モード構成図

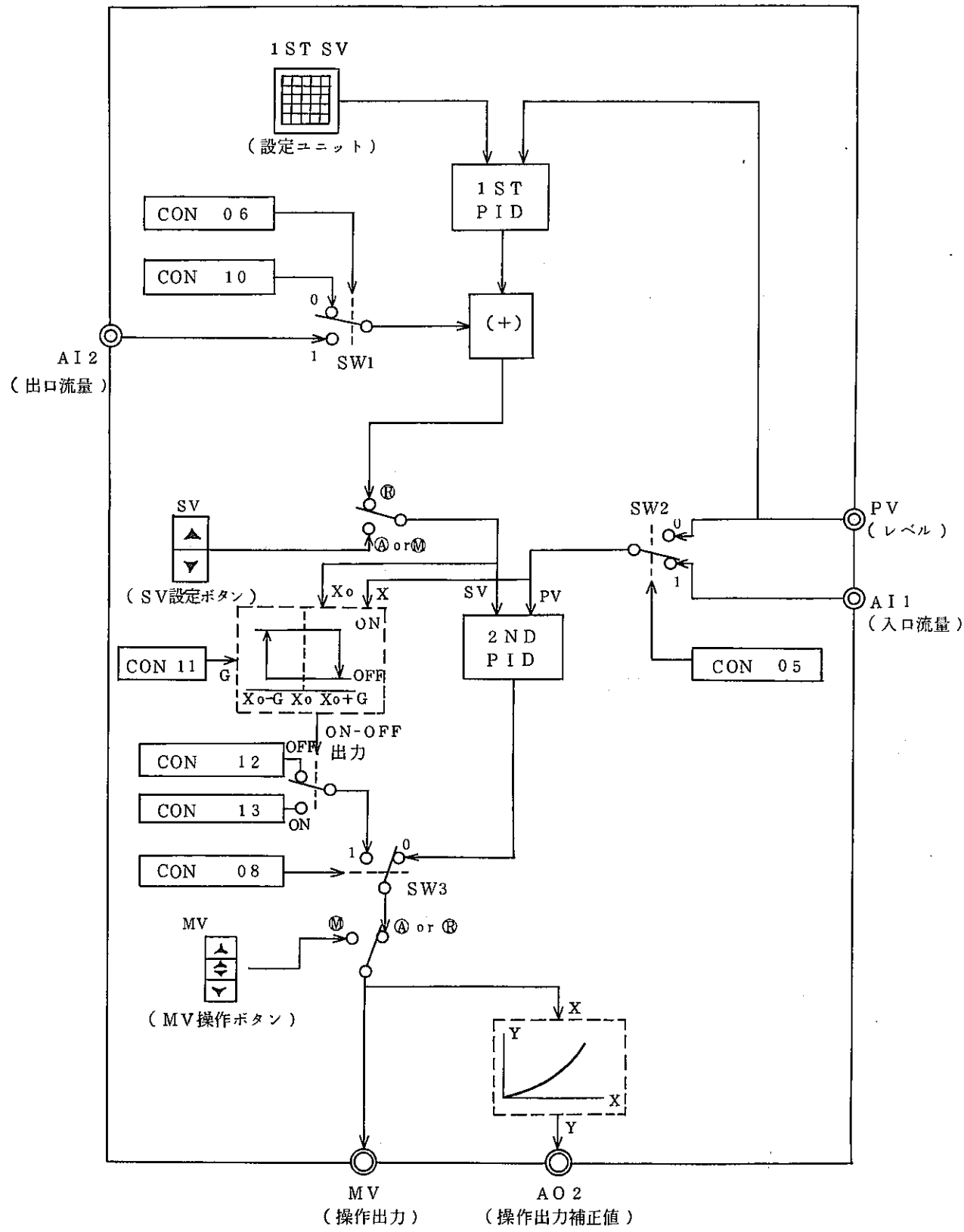


図２－３　カスケード制御モード構成図

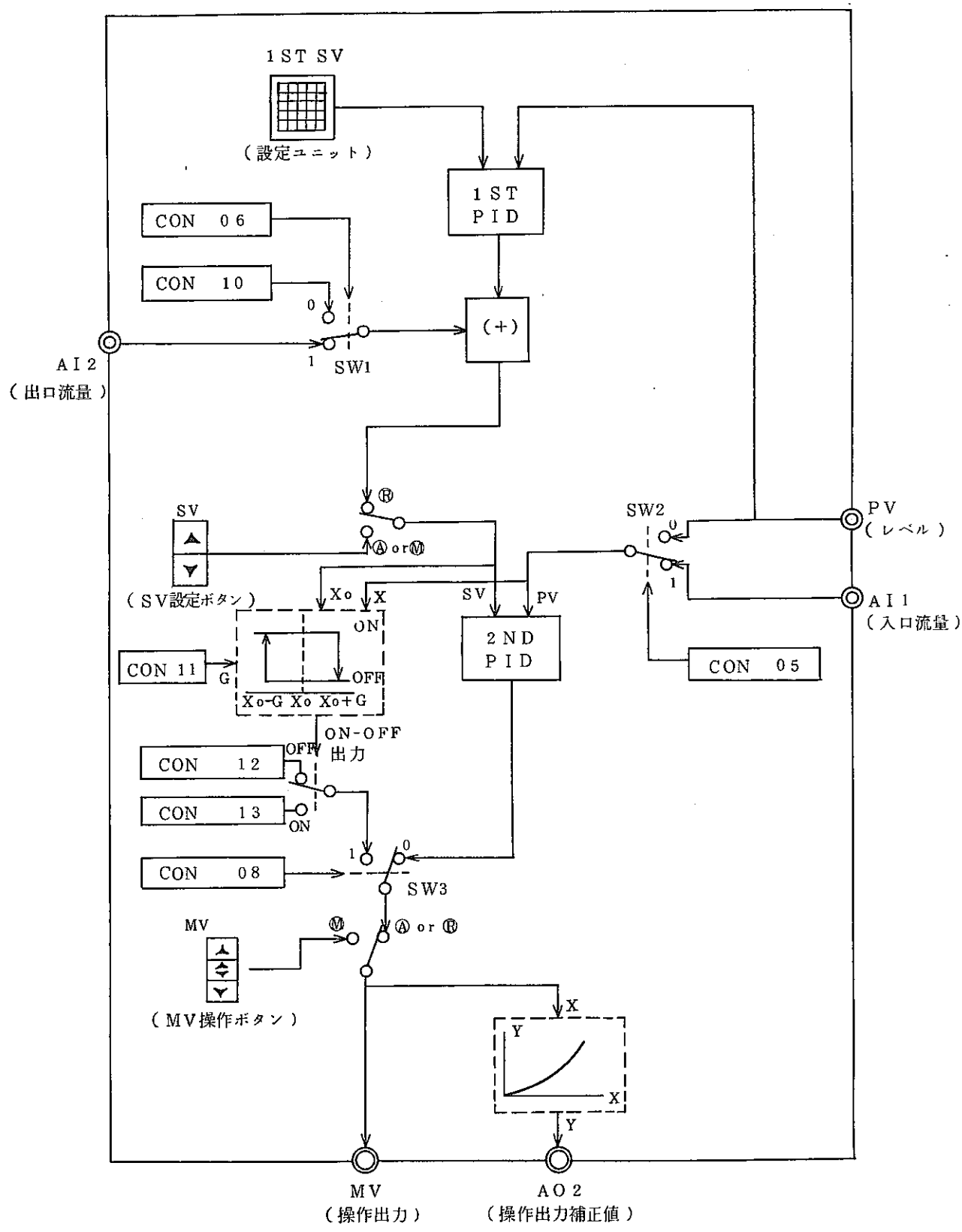


図２－４　フィードフォワード制御モード構成図

添付資料（Ⅲ）

パソコンソフトの起動・停止方法

1. シミュレーションソフト

2. ＰＶ出力ソフト

パソコンソフトの起動・停止方法

1. シミュレーションソフトの起動・停止方法

(1) 起動

(a) パソコンの電源をＯＮにする。

(b) フロッピードライブ１にシミュレーションソフトディスクをセットし、ドライブ２にシミュレーションデータディスク*1をセットする。

*1シミュレーションデータディスクは、シミュレーションループの各定数が記録されており、下記の３つのデータを準備した。

① 標準

② 入口流量遅れ大（入口流量に遅れを持たせたもの）

③ 系統応答小（流量変化に対する系統応答がゆるやかなデータ）

(c) パソコンのリセットＰＢを押す。

（シミュレーションソフトが自動起動し、初期画面が表示される。）

(d) 初期設定画面を選択する。（Ｆ３キー）

（初期設定画面が表示される。）

(e) 開始（Ｆ１キー）を押す。

（画面にレベルが表示され、シミュレーションが開始される。）

(2) 停止（シミュレーション状態より）

(a) 終了（Ｆ１キー）を押す。

（シミュレーションが停止し、初期設定画面となる。）

(b) ＥＸＩＴ（Ｆ３キー）を選択する。

（初期画面モードが表示される。）

(c) ＥＸＩＴ（Ｆ４キー）を選択する。

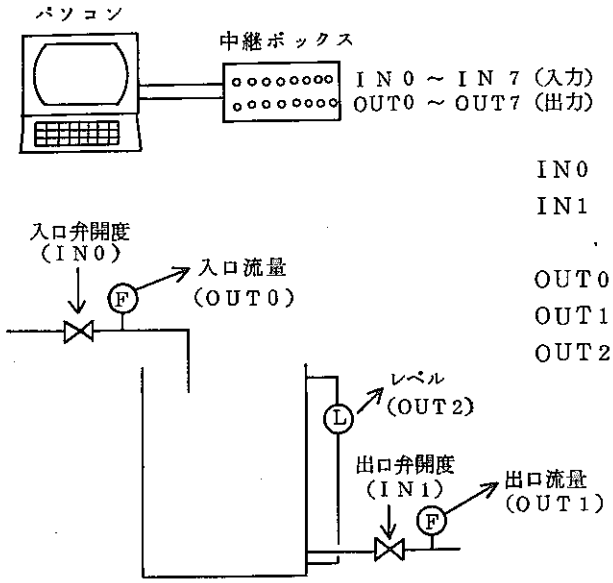
ＭＳＤＯＳモードとなり、“Ａ＞”が表示される。

(d) フロッピーディスクを取り外す。

(e) 電源をＯＦＦにする。

(3) シミュレーションソフト起動時のシステム構成

シミュレーション時の入出力は中継ボックスを経由して行われる。下図にシステム構成図を示す。



ＩＮ０	入口弁の操作入力	０～１００％（１～５Ｖ）
ＩＮ１	出口弁の操作入力	０～１００％（１～５Ｖ）
ＯＵＴ０	入口流量	０～１０００（１～５Ｖ）
ＯＵＴ１	出口流量	０～１０００（１～５Ｖ）
ＯＵＴ２	レベル	０～１００*cm*（１～５Ｖ）

2. ＰＶ出力ソフトの起動・停止方法

(1) 起動

(a) パソコンの電源をＯＮにする。

(b) フロッピードライブ１にＰＶ出力ソフトフロッピーディスクをセットし、リセットＰＢを押す。

（ＰＶ出力ソフトが起動し、モード選択画面が表示される。）

※モードを選択することにより、ＰＶを出力できる。

(2) 停止方法（モード選択画面により）

(a) Ｅキーを押す。（モード選択画面以外でも停止は可能）

PROGRAM COMPLETE ...

OK　　と表示される。

(b) フロッピーディスクを取り外す。

(c) 電源をＯＦＦにする。

(3) ＰＶ出力方法

(a) 連続出力変化

（ｉ） モード選択画面より連続出力変化を選択する。（０キー）

下記項目が表示される。

連続出力変化モードです 初期液位（cm）を入力し、リターンキーを押して下さい。 初期値　0　から 100cm　？

（ii） 初期液位を入力し、リターンキーを押す。

入力した液位がコントローラへ出力され、下記項目が表示される。

変化速度を（cm／sec）で入力し、リターンキーを押して下さい。

（iii） 変化速度を入力し、リターンキーを押す。

次に示す画面が表示され、ＵＰキー（⇧）またはＤＯＷＮキー（⇩）を押すことにより、レベルを変化させることができる。

連続出力変化モードです

⇧　出力上昇（＋1cm／sec）
　　出力中

⇩　出力降下（－1cm／sec）

R　：　変化速度変更

M　：　モード変更

E　：　終了

⇧：押している間入力された変化速度で上昇する。

⇩：押している間入力された変化速度で下降する。

R：変化速度を変更する場合に使用。

M：モード選択画面に戻る。

E：プログラムが終了する。

(b)　一定値出力

（ｉ）　モード選択画面より、一定値出力を選択する。（１キー）

下記項目が表示される。

一定値出力モードです

出力する液位を入力して、リターンキーを押して下さい。

液位　（０　から　100cm）　？

（ii）　出力したい液位を入力して、リターンキーを押す。

入力した液位がコントローラへ出力され、下記の画面が表示される。

一定値出力モードです

液位　50cm　を出力中

終了する場合は　E
モードを変更する場合は　M
再度液位を出力する場合は　スペースキー
を押して下さい

E　：　プログラムが終了する。

M　：　モード選択画面に戻る。

スペースキーを押すことにより、再度液位を出力できる。

(c) ランプ変化出力

（ｉ） モード選択画面よりランプ変化出力を選択する。（２キー）

下記項目が表示される。

```
  ランプ変化出力モードです
初期液位（cm）を入力し、リターンキーを押して下さい。
初期値　（０　から 100cm）　？
```

（ii） 初期液位を入力し、リターンキーを押す。

入力した液位がコントローラへ出力され、下記項目が表示される。

```
                              初期液位　50（cm）を出力中
  目標液位（cm）を入力し、リターンキーを押して下さい。
  目標値　（０　から 100cm）　？
```

（iii） 目標液位を入力し、リターンキーを押す。

下記項目が表示される。

```
変化率　cm／secを入力し、リターンキーを押して下さい
（ステップで変化させる場合は　９９９）
変化率　cm／sec　？
```

（iv） 変化率を入力し、リターンキーを押す。

下記項目が表示される。

```
  ランプ変化出力モードです
初期値　50cm　目標値　20cm　変化率　５cm／secです。
変化開始は　Ｙ（再設定はＮ）を押して下さい
```

（ｖ）　Ｙキーを押す。

下記項目が表示され、（ii）～（iv）にて設定した値でレベルが変化する。

```
ランプ変化出力モードです

初期値　50cm　から　目標値　20cm　まで　変化率　5 cm／secで出力中
```

変化が完了すると下記画面が表示される。

```
ランプ変化出力モードです

初期値 50cm から 目標値 20cm まで 変化率 5 cm／secで出力完了

終了する場合は　E
モードを変更する場合は　M
再度ランプ変化出力する場合は　スペースキー

                                    を押して下さい
```

E　：　プログラムが終了する。

M　：　モード選択画面に戻る。

スペースキーを押すことにより、再度ランプ変化出力を行わせることができる。